



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO RECICLADO
MEZCLADO CON VIDRIO DE LA VÍA CEVALLOS – MOCHA EN EL
TRAMO KM 0 + 000 AL KM 3 + 306 DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

AUTOR: Jorge Estuardo Fernández López

TUTORA: Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.

AMBATO - ECUADOR

Febrero – 2024

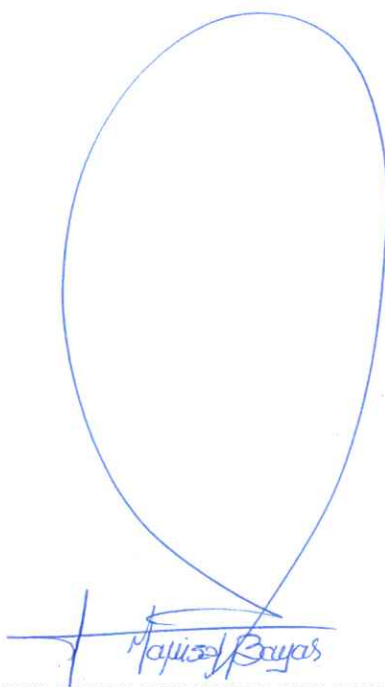
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO RECICLADO MEZCLADO CON VIDRIO DE LA VÍA CEVALLOS – MOCHA EN EL TRAMO KM 0 + 000 AL KM 3 + 306 DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, elaborado por el Sr. Jorge Estuardo Fernández López, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1600701815, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2024



Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Jorge Estuardo Fernández López**, con C.I. 1600701815 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO RECICLADO MEZCLADO CON VIDRIO DE LA VÍA CEVALLOS – MOCHA EN EL TRAMO KM 0 + 000 AL KM 3 + 306 DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del Trabajo Experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



.....
Jorge Estuardo Fernández López

C.I. 1600701815

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2024



.....
Jorge Estuardo Fernández López

C.I. 1600701815

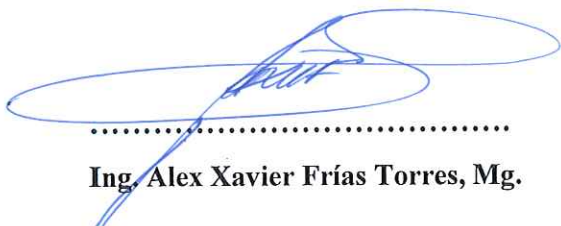
AUTOR

APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO


Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Jorge Estuardo Fernández López, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO RECICLADO MEZCLADO CON VIDRIO DE LA VÍA CEVALLOS – MOCHA EN EL TRAMO KM 0 + 000 AL KM 3 + 306 DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”.

Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



.....
Ing. Alex Xavier Frías Torres, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



.....
Ing. Mayra Alexandra Viscaíno Cuzco, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios y a mis padres, Germán Fernández y Carla López que con su ejemplo me han enseñado a no rendirme, luchar bajo cualquier adversidad y por ser lo más importante que tengo en mi vida.

Jorge Estuardo Fernández López

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios y a mis padres Germán Fernández y Carla López porque sin ellos no hubiese llegado hasta aquí, son un pilar esencial en mi vida, los amo y admiro mucho. De igual forma, agradezco a mis hermanas por ser mis compañeras de vida.

Seguidamente, agradezco a mi enamorada Fernanda Pazmiño, porque ha sido un apoyo muy grande para mí y me ha ayudado a crecer personalmente, aprecio enormemente la paciencia y cariño incondicional.

También agradezco a Ávaro Luna quien, a pesar de ser mi cuñado, para mí ha sido como el hermano que siempre quise tener y porque con su ejemplo me ha inspirado no solo a ser un gran profesional sino también un buen ser humano.

Finalmente, agradezco a la Universidad Técnica de Ambato y a todos quienes fueron mis maestros por todas sus enseñanzas y experiencias compartidas a lo largo de mi trayectoria estudiantil.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
INDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
RESUMEN EJECUTIVO	xxi
ABSTRACT.....	xxii
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
OBJETIVOS.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	6
2.1 Materiales	6
2.2 Métodos	7
2.2.1 Fase 1: Analizar la información de estudios realizados en la vía y sobre la incorporación de vidrio en asfalto reciclado.	7
2.2.2 Fase 2: Formular alternativas de diseño de la carpeta asfáltica en el pavimento flexible con el uso de vidrio y asfalto reciclado.	9
2.2.2.1 Obtención pavimento asfáltico reciclado, botellas de vidrio recicladas y agregados pétreos	9
2.2.2.2 Ensayos de laboratorio	11

2.2.2.2.1	Ensayo de Abrasión a agregados pétreos y materiales reciclados.....	12
2.2.2.2.2	Ensayo de Granulometría de los agregados pétreos y materiales reciclados.....	13
2.2.2.2.3	Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de agregados gruesos.....	15
2.2.2.2.4	Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de agregados finos.....	16
2.2.2.2.5	Ensayo de Porcentaje de Caras Fracturadas en agregados pétreos.....	17
2.2.2.2.6	Ensayo de Centrifugado del asfalto reciclado.....	19
2.2.2.2.7	Granulometría de la mezcla asfáltica.....	21
2.2.2.2.8	Elaboración de briquetas, Método Marshall.....	22
2.2.2.2.9	Ensayo Marshall para el Diseño de Mezclas Bituminosas Asfálticas.....	23
2.2.2.2.10	Ensayo Rice o Gravedad Específica Máxima Teórica.....	27
2.2.2.3	Diseño del Pavimento Flexible Método AASHTO 93.....	29
2.2.3	Fase 3: Establecer la fórmula maestra de la mezcla asfáltica combinada con vidrio y pavimento asfáltico reciclado.....	37
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		38
3.1	Análisis y discusión de los resultados.....	38
3.1.1	Fase 1.....	38
3.1.1.1	Datos recopilados de la vía de estudio.....	38
3.1.1.2	Datos recopilados sobre la implementación de vidrio triturado en mezclas asfálticas.....	38
3.1.1.3	Datos recopilados sobre la implementación de RAP en mezclas asfálticas.....	39
3.1.2	Fase 2.....	39

3.1.2.1	Análisis de los ensayos realizados a los agregados pétreos obtenidos en la planta de asfalto “JEAL Construcciones”	40
3.1.2.1.1	Resultado del ensayo “Granulometría del agregado grueso y fino”	40
3.1.2.1.2	Resultados del ensayo “Gravedad específica y absorción del agregado grueso, fino y total”	41
3.1.2.1.3	Resultados del ensayo “Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso”	42
3.1.2.1.4	Resultado del ensayo “Porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso”	42
3.1.2.2	Análisis de los ensayos en la mezcla asfáltica convencional.....	43
3.1.2.2.1	Resultados Ensayos Rice.....	43
3.1.2.2.2	Resultados del diseño de mezcla asfáltica convencional, Método Marshall.....	45
3.1.2.2.3	Resultado del “Contenido Óptimo de AC-20” en la mezcla asfáltica convencional.....	46
3.1.2.2.4	Resultados, Criterios Marshall.....	48
3.1.2.3	Análisis las tres primeras alternativas de diseño de mezcla asfáltica con sustituciones parciales de RAP y vidrio triturado.	50
3.1.2.3.1	Análisis de los ensayos realizados al vidrio triturado	50
3.1.2.3.1.1	Resultado del ensayo “Desgaste por abrasión del vidrio triturado”.....	51
3.1.2.3.1.2	Resultados del ensayo “Granulometría del vidrio triturado”	51
3.1.2.3.1.3	Resultado del ensayo “Contenido de humedad del vidrio triturado”.....	52
3.1.2.3.2	Análisis de los ensayos realizados al pavimento asfáltico reciclado (RAP).....	52
3.1.2.3.2.1	Resultados del ensayo centrifugado del RAP.....	52
3.1.2.3.2.2	Resultados del ensayo “Granulometría RAP”	53
3.1.2.3.2.3	Resultado del ensayo “Contenido de humedad del RAP”	54

3.1.2.3.2.4	Resultado del ensayo “Desgaste por abrasión del RAP”.....	54
3.1.2.3.3	Tres primeras alternativas de diseño de mezclas asfálticas con sustitución parcial de vidrio y/o RAP.....	55
3.1.2.3.4	Análisis de los ensayos realizados a las tres primeras alternativas de mezclas asfálticas.	56
3.1.2.3.4.1	Resultado del Ensayo Rice, primera alternativa de mezcla asfáltica	56
3.1.2.3.4.2	Resultado del Ensayo Rice, segunda alternativa de mezcla asfáltica.....	57
3.1.2.3.4.3	Resultado del Ensayo Rice, tercera alternativa de mezcla asfáltica.....	57
3.1.2.3.4.4	Resultados de las tres primeras alternativas de diseño de mezclas asfálticas, Método Marshall	59
3.1.2.3.4.5	Resultados de las propiedades determinadas a las tres primeras alternativas de mezclas asfálticas, Criterios Marshall.....	60
3.1.2.4	Análisis de la cuarta alternativa de mezcla asfáltica.....	61
3.1.2.4.1	Análisis de los ensayos realizados a la mezcla asfáltica	61
3.1.2.4.1.1	Resultados del Ensayo Rice, cuarta alternativa de mezcla asfáltica.....	61
3.1.2.4.1.2	Resultados de la cuarta alternativa de diseño de mezclas asfálticas, Método Marshall	63
3.1.2.4.1.3	Resultado del Contenido Óptimo de AC-20, RAP y vidrio triturado de la cuarta alternativa de mezcla asfáltica.	64
3.1.2.4.1.4	Resultados de las propiedades determinadas en la cuarta alternativa de mezclas asfálticas, Criterios Marshall	66
3.1.3	Fase 3	68
3.1.3.1	Fórmulas maestras obtenidas de las diferentes mezclas asfálticas	68
3.1.3.1.1	Fórmula maestra mezcla asfáltica convencional.....	68
3.1.3.1.2	Fórmula maestra de la primera alternativa de mezcla asfáltica sostenible.....	69

3.1.3.1.3	Fórmula maestra de la segunda alternativa de mezcla asfáltica sostenible.....	69
3.1.3.1.4	Fórmula maestra de la tercera alternativa de mezcla asfáltica sostenible.....	70
3.1.3.1.5	Fórmula maestra de la cuarta alternativa de mezcla asfáltica sostenible.....	71
3.1.3.2	Comparación entre los porcentajes de incorporación de todas las mezclas asfálticas	71
3.1.3.3	Comparación entre los resultados técnicos de cada mezcla asfáltica realizada.....	72
3.1.3.4	Comparación de los resultados económicos entre Mezclas asfálticas que cumplieron los parámetros Marshall	76
3.2	Verificación de hipótesis	76
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		77
4.1	Conclusiones	77
4.2	Recomendaciones	78
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		79
VI. ANEXOS		82
6.1.	Anexo 1, resultado de los ensayos de granulometría	82
6.2.	Anexo 2, resultado de los ensayos de gravedad específica	88
6.3.	Anexo 3, resultado de los ensayos de resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso.....	90
6.4.	Anexo 4, resultado del ensayo porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso91	
6.5.	Anexo 5, resultado de los ensayos de contenido de humedad.....	92
6.6.	Anexo 6, resultado del ensayo de centrifugado del pavimento asfáltico reciclado	94
6.7.	Anexo 7, resultado de los ensayos Rice	95

6.8. Anexo 8, gráficas para el diseño de mezclas asfálticas, Método Marshall.....	101
6.8.1. Primera alternativa de mezcla asfáltica.....	101
6.8.2. Segunda alternativa de mezcla asfáltica.....	104
6.8.3. Tercera alternativa de mezcla asfáltica	107
6.8.4. Cuarta alternativa de mezcla asfáltica.....	110
6.8.4.1. Contenido óptimo de vidrio	110
6.8.4.2. Contenido óptimo de Pavimento Asfáltico Reciclado.....	111
6.9. Anexo 9, diseño de la estructura del pavimento flexible para la vía de estudio... ..	113
6.10. Anexo 10, análisis de Precios Unitarios, mezclas asfálticas que cumplieron todos los criterios Marshall	115
6.11. Anexos fotográficos	117
6.12. Mapa de ubicación	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración N° 0 1.- Área de corte en asfalto	9
Ilustración N° 0 2.- Corte de asfalto en la vía de estudio	9
Ilustración N° 0 3.- Extracción de muestras de asfalto	10
Ilustración N° 0 4.- Trituración mecánica de asfalto reciclado	10
Ilustración N° 0 5.- Obtención de agregados en JEAL Construcciones.....	11
Ilustración N° 0 6.- Trituración manual de vidrio	11
Ilustración N° 0 7.- Ensayo Desgaste por abrasión	12
Ilustración N° 0 8.- Tamizado de agregados para el ensayo de granulometría	14
Ilustración N° 0 9.- Gravedad específica a Áridos gruesos.....	16
Ilustración N° 10.- Ensayo Gravedad Específica Agregados Finos	17
Ilustración N° 11.- Ensayo porcentaje de caras fracturadas al agregado grueso.....	18
Ilustración N° 12.- Centrifugado de Asfalto Reciclado.....	20
Ilustración N° 13.- Granulometría para diseño de mezcla asfáltica	21
Ilustración N° 14.- Granulometría del vidrio triturado.....	21
Ilustración N° 15.- Elaboración de briquetas	23
Ilustración N° 16.- Briquetas elaboradas.....	23
Ilustración N° 17.- Ensayo de briquetas en máquina Marshall	27
Ilustración N° 18.- Ensayo Rice	28
Ilustración N° 19.- Programa AASHTO 93	32
Ilustración N° 20.- Nomograma para estimar el coeficiente estructural a1 para la carpeta asfáltica.....	33
Ilustración N° 21.- Nomograma para estimar el coeficiente estructural a2 para una capa base granular	34
Ilustración N° 22.- Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase...	34
Ilustración N° 23.- Paquete estructural del pavimento.....	37
Ilustración N° 24.- Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto	46
Ilustración N° 25.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto.....	47
Ilustración N° 26.- Estabilidad vs. Contenido de asfalto.....	47
Ilustración N° 27.- Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de asfalto	48
Ilustración N° 28.- Flujo o deformación vs. Contenido de asfalto.....	49
Ilustración N° 29.- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto	49
Ilustración N° 30.- Vidrio triturado	50

Ilustración N° 31.- Pavimento asfáltico reciclado.....	52
Ilustración N° 32.- Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto	64
Ilustración N° 33.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto.....	64
Ilustración N° 34.- Estabilidad vs. Contenido de asfalto.....	65
Ilustración N° 35.- Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de asfalto	66
Ilustración N° 36.- Flujo o deformación vs. Contenido de asfalto	67
Ilustración N° 37.- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto	67
Ilustración N° 38.- Comparación de los porcentajes de las mezclas asfálticas	71
Ilustración N° 39.- Comparación entre Pesos Específicos Bulk vs Contenido de AC-20 de todas las mezclas asfálticas	72
Ilustración N° 40.- Comparación entre Estabilidades vs Contenido de AC-20 de todas las mezclas asfálticas.....	73
Ilustración N° 41.- Comparación entre Pesos Específicos Bulk vs Contenido de AC-20 de todas las mezclas asfálticas	73
Ilustración N° 42.- Comparación entre Flujo o deformación vs Contenido de AC-20 de todas las mezclas asfálticas	74
Ilustración N° 43.- Comparación entre Vacíos en Agregados Minerales vs Contenido de AC-20 de todas las mezclas asfálticas.....	74
Ilustración N° 44.- Comparación entre Vacíos en Agregados Minerales vs Contenido de AC-20 de todas las mezclas asfálticas.....	75
Ilustración N° 45.- Comparación de los resultados económicos entre mezclas asfálticas.....	76
Ilustración N° 46.- Curva granulométrica de la fracción de agregado grueso 3/4" ..	83
Ilustración N° 47.- Curva granulométrica de la fracción de agregado 3/8"	84
Ilustración N° 48.- Curva granulométrica de la fracción de agregado fino.....	85
Ilustración N° 49.- Curva granulométrica del vidrio triturado	86
Ilustración N° 50.- Curva granulométrica del RAP.....	87
Ilustración N° 51.- Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto	101
Ilustración N° 52.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto.....	101
Ilustración N° 53.- Estabilidad vs. Contenido de asfalto.....	102
Ilustración N° 54.- Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de asfalto	102
Ilustración N° 55.- Flujo o deformación vs. Contenido de asfalto	103

Ilustración N° 56.- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto	103
Ilustración N° 57.- Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto	104
Ilustración N° 58.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto.....	104
Ilustración N° 59.- Estabilidad vs. Contenido de asfalto.....	105
Ilustración N° 60.- Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de asfalto	105
Ilustración N° 61.- Flujo o deformación vs. Contenido de asfalto.....	106
Ilustración N° 62.- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto	106
Ilustración N° 63.- Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto	107
Ilustración N° 64.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto.....	107
Ilustración N° 65.- Estabilidad vs. Contenido de asfalto.....	108
Ilustración N° 66.- Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de asfalto	108
Ilustración N° 67.- Flujo o deformación vs. Contenido de asfalto	109
Ilustración N° 68.- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto	109
Ilustración N° 69.- Peso específico Bulk vs. Contenido de vidrio	110
Ilustración N° 70.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de vidrio.....	110
Ilustración N° 71.- Estabilidad vs. Contenido de vidrio.....	111
Ilustración N° 72.- Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto	111
Ilustración N° 73.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto.....	112
Ilustración N° 74.- Estabilidad vs. Contenido de asfalto.....	112
Ilustración N° 75.- SN3 (Capa sub-base) determinado con el programa “Ecuación AASHTO 93”.....	113
Ilustración N° 76.- Resultados de la distribución de las capas de la estructura del pavimento flexible.....	115
Ilustración N° 77.- APU mezcla asfáltica convencional	115
Ilustración N° 78.- APU mezcla asfáltica CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE RAP, vidrio triturado y 6.65% de AC-20	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 0 1.- Requisitos granulométricos para mezcla en sitio	7
Tabla N° 0 2.- Criterios de diseño para Mezclas Marshall	8
Tabla N° 0 3.- Peso de agregado y número de Esferas para agregados gruesos hasta de 1 ½” (Ensayo de Abrasión ASTM C-131)	13
Tabla N° 0 4.- Criterio para la asignación de símbolos de grupo	15
Tabla N° 0 5.- Peso total de la muestra según el tamaño del agregado	18
Tabla N° 0 6.- Tamaño máximo nominal del agregado	19
Tabla N° 0 7.- Datos para el diseño de pavimento flexible	29
Tabla N° 0 8.- Carreteras según el TPDA.....	30
Tabla N° 0 9.- Periodo de diseño según el tipo de carretera	30
Tabla N° 10.- Nivel de confianza según la clasificación de la carretera.....	31
Tabla N° 11.- Desviación Estándar normal (Zr)	31
Tabla N° 12.- Desviación global (So).....	31
Tabla N° 13.- Calidad del drenaje.....	35
Tabla N° 14.- Coeficiente de drenaje	35
Tabla N° 15.- Espesores mínimos AASHTO 93.....	35
Tabla N° 16.- Formato fórmula maestra de mezclas asfálticas.....	37
Tabla N° 17.- Resultados de estudios realizados en la vía de estudio	38
Tabla N° 18.- Resultados de estudios realizados para la implementación de vidrio triturado para el diseño de mezclas asfálticas	38
Tabla N° 19.- Resultados de estudios realizados para la implementación de pavimento asfáltico reciclado en el diseño de mezclas asfálticas	39
Tabla N° 20.- Resultados de la granulometría de los agregados.....	40
Tabla N° 21.- Resumen de resultados de los ensayos de Gs y Abs realizado a los agregados pétreos	41
Tabla N° 22.- Resultado de Gravedad específica total	41
Tabla N° 23.- Resultado del ensayo "Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso"	42
Tabla N° 24.- Resultado del ensayo "Porcentaje de Caras Fracturadas"	42
Tabla N° 25.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica convencional con adición del 5% de AC-20	43

Tabla N° 26.- Resultados Rice de las mezclas asfálticas convencionales con diferentes porcentajes de AC-20.....	43
Tabla N° 27.- Diseño mezcla asfáltica convencional, Método Marshall	45
Tabla N° 28.- Contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica convencional..	48
Tabla N° 29.- Resultados para el análisis de criterios de diseño Marshall	50
Tabla N° 30.- Resultado del ensayo "Resistencia al desgaste por abrasión del vidrio triturado"	51
Tabla N° 31.- Resultados del Ensayo "Granulometría del vidrio triturado".....	51
Tabla N° 32.- Resultado del ensayo "Contenido de humedad del vidrio triturado" ..	52
Tabla N° 33.- Resultado del Ensayo "Centrifugado del Pavimento Asfáltico Reciclado"	53
Tabla N° 34.- Porcentaje de emulsión asfáltica presente por cada gramo de pavimento asfáltico reciclado.....	53
Tabla N° 35.- Resultados del Ensayo "Granulometría del vidrio triturado".....	53
Tabla N° 36.- Resultado del ensayo "Contenido de humedad del pavimento asfáltico reciclado"	54
Tabla N° 37.- Resultado del ensayo "Resistencia al Desgaste por Abrasión del Pavimento Asfáltico Reciclado"	54
Tabla N° 38.- Ensayo Rice de la mezcla asfáltica con remplazo parcial de RAP	56
Tabla N° 39.- Ensayo Rice de la mezcla asfáltica con remplazo parcial de vidrio triturado.....	57
Tabla N° 40.- Ensayo Rice de la mezcla asfáltica con remplazo parcial de pavimento asfáltico reciclado y vidrio triturado	57
Tabla N° 41.- Diseño mezcla asfáltica con sustitución parcial de RAP, Vidrio triturado y 6.42% de AC-20, Método Marshall	59
Tabla N° 42.- Resultado de las mezclas asfálticas con 6.42% de contenido óptimo de AC-20 para comprobación con criterios Marshall	60
Tabla N° 43.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 4% de AC-20 y sustitución parcial del 1.40% de RAP y 0.75% de vidrio triturado.	61
Tabla N° 44.- Resultados Rice de las mezclas asfálticas con sustitución parcial de RAP en el tamiz N°4 y de vidrio triturado en el tamiz N°50.....	62
Tabla N° 45.- Resultados del diseño de la cuarta alternativa de diseño de mezcla asfáltica con sustitución parcial de RAP y Vidrio Triturado, Método Marshall.....	63

Tabla N° 46.- Contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica con sustitución parcial de vidrio triturado y RAP en el tamiz N°4 y N°50 respectivamente.	65
Tabla N° 47.- Resultados para el análisis de criterios de diseño Marshall	68
Tabla N° 48.- Fórmula maestra de la mezcla asfáltica convencional	68
Tabla N° 49.- Fórmula maestra de la mezcla asfáltica con reemplazo parcial de 75.80% de RAP en la mezcla asfáltica.....	69
Tabla N° 50.- Fórmula maestra de la mezcla asfáltica con reemplazo parcial del 68.31% de Vidrio triturado en la mezcla asfáltica	69
Tabla N° 51.- Fórmula maestra de la mezcla asfáltica con sustitución parcial de 48.66% de RAP, 34.16% Vidrio Triturado y 6.42% contenido óptimo de asfalto	70
Tabla N° 52.- Fórmula maestra de la mezcla asfáltica con porcentajes de adición de RAP en el tamiz N°4 y Vidrio triturado en el Tamiz N°50	71
Tabla N° 53.- Granulometría de la fracción de agregado grueso 3/4" de la planta de asfalto JEAL Construcciones	82
Tabla N° 54.- Granulometría de la fracción de agregado intermedio 3/8" de la planta de asfalto JEAL Construcciones	83
Tabla N° 55.- Granulometría de la fracción de agregado fino de la planta de asfalto JEAL Construcciones.....	84
Tabla N° 56.- Asignación de símbolos de grupo de suelos en los agregados pétreos obtenidos en la planta de asfaltos JEAL Construcciones.....	85
Tabla N° 57.- Ensayo Granulometría del vidrio triturado.....	85
Tabla N° 58.- Ensayo de granulometría del RAP	86
Tabla N° 59.- Gravedad específica del agregado grueso e intermedio obtenido de la planta de asfalto JEAL Construcciones.....	88
Tabla N° 60.- Gravedad específica del agregado fino obtenido de la planta de asfalto JEAL Construcciones.....	88
Tabla N° 61.- Gravedad específica del agregado fino	89
Tabla N° 62.- Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso	90
Tabla N° 63.- Ensayo Resistencia al desgaste por abrasión del vidrio triturado	90
Tabla N° 64.- Resistencia al desgaste por abrasión del RAP.....	91
Tabla N° 65.- Porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso	91
Tabla N° 66.- Contenido de humedad natural del vidrio triturado	92
Tabla N° 67.- Ensayo de contenido de humedad natural del RAP, muestra 1	93

Tabla N° 68.- Ensayo de contenido de humedad natural del RAP, muestra 2.....	93
Tabla N° 69.- Ensayo de contenido de humedad natural del RAP, muestra 3.....	94
Tabla N° 70.- Contenido de humedad promedio del pavimento asfáltico reciclado	94
Tabla N° 71.- Centrifugado del RAP	94
Tabla N° 72.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica convencional con adición del 5.5% de AC-20	95
Tabla N° 73.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica convencional con adición del 6% de AC-20	96
Tabla N° 74.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica convencional con adición del 6.5% de AC-20	96
Tabla N° 75.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica convencional con adición del 7% de AC-20	97
Tabla N° 76.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 4.5% de AC-20 y sustitución parcial del 2.10% de RAP y 1.50% de vidrio triturado.	97
Tabla N° 77.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 5% de AC-20 y sustitución parcial del 2.80% de RAP y 2.25% de vidrio triturado.	98
Tabla N° 78.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 5.5% de AC-20 y sustitución parcial del 3.50% de RAP y 3.00% de vidrio triturado.	98
Tabla N° 79.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 6.00% de AC-20 y sustitución parcial del 4.20% de RAP y 3.75% de vidrio triturado.	99
Tabla N° 80.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 6.5% de AC-20 y sustitución parcial del 4.90% de RAP y 4.50% de vidrio triturado.	99
Tabla N° 81.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 7.00% de AC-20 y sustitución parcial del 5.60% de RAP y 5.25% de vidrio triturado.	100
Tabla N° 82.- Resultado de los datos para el diseño de pavimento flexible.....	113
Tabla N° 83.- Espesores para el diseño de pavimentos	114

RESUMEN EJECUTIVO

En la actualidad, se emplean diversas técnicas para el diseño de mezclas asfálticas, no obstante, en Ecuador, la implementación de materiales como vidrio triturado y pavimento asfáltico no ha sido plenamente aceptada. El proyecto actual tiene como objetivo analizar mezclas asfálticas con sustitución parcial de dichos materiales reciclados, abordando tanto el aspecto medio ambiental como el económico.

Por lo que, se partió de un estudio preliminar en donde se recopiló datos referentes a la vía de estudio e información base sobre la incorporación de RAP y vidrio triturado, se realizaron ensayos a los agregados pétreos y materiales reciclados, con la finalidad de evaluar su calidad y determinar sus propiedades mecánicas, se realizaron 15 briquetas convencionales, a través del método Marshall se obtuvo un porcentaje óptimo de asfalto permitiendo conseguir una mezcla asfáltica adecuada que sirvió como base para sustituir las proporciones de los materiales en cuestión, se ejecutó cuatro alternativas de diseño de mezclas asfálticas, las cuales, tuvieron diferentes porcentajes de vidrio triturado y asfalto reciclado. Las tres primeras alternativas trabajaron con el contenido óptimo de AC-20 de la mezcla asfáltica convencional, mientras que, para la última alternativa se determinó un contenido óptimo de 6.65 por ciento de AC-20, 4.82 por ciento de RAP y 4.42 por ciento de vidrio triturado, todas las mezclas asfálticas fueron evaluadas mediante parámetros establecidos por la normativa MOP-001-F-2002.

Como resultado y cumpliendo con el último objetivo del proyecto se establecieron las respectivas fórmulas maestras para cada diseño de mezclas asfálticas ejecutadas.

Palabras claves: Método Marshall, asfalto, sustitución parcial, material reciclado, RAP.

ABSTRACT

Currently, various techniques are used for the design of asphalt mixtures; however, in Ecuador, the implementation of materials such as crushed glass and asphalt pavement has not been fully accepted. The current project aims to analyze asphalt mixtures with partial substitution of these recycled materials, addressing both the environmental and economic aspects.

Therefore, we started with a preliminary study where we collected data on the road under study and basic information on the incorporation of RAP and crushed glass, tests were carried out on the stone aggregates and recycled materials in order to evaluate their quality and determine their mechanical properties, 15 conventional briquettes were made, Through the Marshall method, an optimum percentage of asphalt was obtained, allowing to obtain an adequate asphalt mixture that served as a base to substitute the proportions of the materials in question, four design alternatives of asphalt mixtures were executed, which had different percentages of crushed glass and recycled asphalt. The first three alternatives worked with the optimum AC-20 content of the conventional asphalt mix, while for the last alternative an optimum content of 6.65 percent AC-20, 4.82 percent RAP and 4.42 percent crushed glass was determined. All the asphalt mixes were evaluated using parameters established by the MOP-001-F-2002 standard.

As a result, and in compliance with the last objective of the project, the respective master formulas were established for each asphalt mix design executed.

Keywords: Marshall method, asphalt, partial replacement, recycled material, RAP.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

Según Rondón y Reyes [1], en su libro *“Pavimentos Materiales, construcción y diseño”* el pavimento para carreteras se encuentra conformado por un conjunto de capas superpuestas en forma horizontal, también conocida como una estructura multicapas diseñada para soportar condiciones ambientales y cargas dinámicas impuestas por el tránsito. El objetivo principal de esta clase de estructura vial es ofrecer paso cómodo, confortable y seguro a los vehículos mismos que provocan esfuerzos cíclicos, deformaciones horizontales, verticales y de corte entre capas.

La estructura vial de pavimento más utilizada en Ecuador es la denominada *“Pavimento flexible”*, la misma que se encuentra conformada por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, dichas capas están compuestas por materiales granulares no tratados o ligados, que a su vez se soportan sobre el terreno natural o subrasante, en donde, las principales funciones de la capa asfáltica son estructural, funcional e impermeabilización. Adicionalmente, las capas de la carpeta asfáltica se encuentran conformadas por mezclas asfálticas que están compuestas por materiales granulares (agregado pétreo) ligados con un material asfáltico, dichos materiales deben cumplir con requisitos mínimos de granulometría y calidad [1].

El diseño de pavimentos flexibles utilizando material asfáltico reciclado ha ganado popularidad debido a sus beneficios ambientales y económicos. El uso de material asfáltico reciclado en pavimentos flexibles se ha convertido en una práctica común en muchos países, puesto que, ha llevado a una disminución en la extracción de materiales vírgenes y ahorros significativos de energía y recursos. Esta práctica, además, contribuye a la reducción de residuos de construcción y demolición, ayudando a conservar los recursos naturales y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero [2].

Por consiguiente, la *“American Association of State Highway and Transportation Officials”* mediante la norma AASHTO T245 expone el método estándar para determinar la resistencia al flujo plástico de mezclas asfálticas utilizando el equipo Marshall, este método se basa en la medición de la resistencia de probetas cilíndricas realizadas con mezclas que contienen emulsión asfáltica y agregados no mayores a 1 pulgada (25.4 mm) [3].

El estudio realizado en el artículo científico *“Recycled asphalt mixtures and their use in granular layers for pavements”* tuvo como enfoque la reutilización o reciclado de materiales sobrantes producto de rehabilitación y reconstrucción de vías, es por ello que la investigación se efectuó con asfalto reciclado procedente de tres puntos diferentes de la ciudad de Tunja (municipio colombiano), los cuales presentaron variación en el tamaño de sus partículas y contenidos diferentes de asfalto, lo anterior mencionado se evidenció en su distribución y propiedades físicas determinadas con ensayos de laboratorio. El comportamiento del material natural y mezclado en varias porciones fueron determinadas después de la etapa de clasificación. En determinadas condiciones de compactación, las adiciones (asfalto reciclado + base granular y asfalto reciclado + subbase granular) generaron disminución en la capacidad de soporte con lo que se determinó que las mezclas con Sub-Base granular cumplen los parámetros exigidos a diferencia de las mezclas con Base granular que no cumplieron [4].

Por otra parte, el estudio realizado en el artículo *“Results of the implementation of asphalt pavement recycling in the Roadway Identification Codes of the localities of Bosa and Suba”* se enfocó en la aplicación de pavimento asfáltico reciclado (RAP) proveniente de materiales deteriorados con pérdida de sus propiedades iniciales. Una vez realizados los respectivos análisis de laboratorio, se obtuvo como resultado positivo la utilización de asfalto reciclado en un porcentaje menor a 30 %, adicional, se hace mención de que el uso adecuado del RAP no solo puede ser amigable con el medio ambiente, sino que también disminuye de forma significativa los gastos generados en la construcción [5].

Adicionalmente, el artículo *“Evaluation of an asphalt mixture with the incorporation of recycled concrete aggregates superficially treated with a chemical solution of magnesium sulfate”* menciona una evaluación del comportamiento físico-mecánico de mezcla asfáltica densa en caliente MDC-19, incorporando de forma directa en el porcentaje de agregados gruesos de dicha mezcla asfáltica el reciclado de concreto (RCA). Por consiguiente, se menciona la ejecución de ensayos de resistencia bajo carga monotónica (Marshall, resistencia a la tracción directa y resistencia al desgaste por abrasión) a dos grupos de muestras (con y sin tratamiento químico) incorporadas RCA, obteniendo como resultado que la utilización de RCA tratado químicamente

aumenta la resistencia bajo dichas cargas monotónicas realizadas a las mezclas asfálticas [6].

Del mismo modo, en el artículo *“Use of polymers in asphalt”* se menciona a los polímeros como otro material reciclado para el diseño de mezclas asfálticas en caliente. Se indica que dicho material es propuesto con la finalidad de reducir la contaminación del medio ambiente y mejorar las propiedades del asfalto, lo anterior se verifica con los ensayos realizados concluyendo que los porcentajes óptimos de polímero están entre los parámetros de 10 % a 20% [7].

En cuanto a estudios realizados a las últimas tecnologías para la fabricación de mezclas asfálticas templadas también denominada emulsión super-estabilizada, en el artículo *“Study of warm mix asphalt whitg super stabilized emulsion”* [8], se estudió que tan aplicables son los procedimientos de mezclado y compactación para el tipo de mezclas templadas con las mezclas asfálticas en caliente. Los resultados obtenidos en función de los diferentes estudios de laboratorio demuestran que tanto el módulo y resistencia de las mezclas asfálticas templadas con emulsión super - estabilizadas es menor que las mezclas asfálticas en caliente sin importar que se obtenga una mayor densificación templada como en el caso de 4% de asfalto y compactación giratoria [8].

Por otra parte, la investigación realizada en Bogotá por Villamil, en la cual analizó el uso del grano caucho (GCR) por vía seca como húmeda para el mejoramiento de mezclas asfálticas, con este estudio se concluyó que los porcentajes óptimos de grano de caucho a incorporar a la mezcla asfáltica son de 10 % y 15%, por otro lado, con un porcentaje de 20% se obtuvieron valores que se encontraban al límite e incumplían con el porcentaje de vacíos llenos con aire y asfalto [9].

En Ecuador, provincia de Manabí, Navarrete [10], manifiesta que, el hecho de que un pavimento mantenga su forma y lisura al encontrarse bajo repetidas cargas, este puede ser considerado como estable y para ello la estabilidad debe ser considerablemente alta para poder acomodarse al tránsito. Lo anterior también se menciona en el *“Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador 2002”* exigiendo estabilidades de 1800 libras o mayores [10], [11].

Para Navarrete, al adicionar porcentajes como 4%, 8% y 12% de elastómero para el diseño de mezclas asfálticas con pavimento envejecido generó buenos resultados, por

otra parte, granulometrías media y fina contribuyeron a un buen comportamiento con la reutilización del elastómero y pavimento asfáltico [10].

En cuanto a otra investigación enfocada en mezclas asfálticas modificadas en caliente, en el artículo *“Design of Hot Asphalt Mixtures Modified with Elastomer (rubber) and Polyethylene Terephthalate recycled with AC-20 Asphalt”* busca realizar una comparación entre el comportamiento que poseen las mezclas asfálticas convencionales y modificadas con material de origen plástico como el caucho proveniente de neumáticos reciclados y PET proveniente de botellas de plástico recicladas. Para el diseño de la mezcla asfáltica se tomó la granulometría conforme al material pétreo de tamaño máximo nominal 3/4”, obteniendo buenos resultados al incorporar un 7.5 % (pasante del tamiz #10 y retenido en el #40) de partículas de elastómero en la muestra modificada [12].

Por otra parte, la investigación *“Assessment of Waste Glass Incorporation in Asphalt Concrete for Surface Layer Construction”* se enfoca en utilizar residuos de vidrio para adicionarlos como parte de los áridos de la mezcla asfáltica, teniendo en cuenta que el vidrio posee mala adherencia al betún, la cantidad a adicionarse de este material fue de 10 % y 15%. Como resultado, la adición de vidrio utilizada no brindó buenos resultados debido a que la rigidez y la resistencia a la deformación permanente de la mezcla asfáltica disminuyeron, por último, los valores de SRI de todas las mezclas fueron muy bajos [13].

Del mismo modo, en la India se realizó la investigación *“Study of the impact in bituminous mix using crushed waste glass”* en donde el material a utilizar para el diseño de la mezcla asfáltica es el vidrio triturado, este se añadió en porcentajes de 5%, 10% y 15% en peso con respecto al agregado fino. Se llegó a la conclusión de que, al aumentar la porción de vidrio en la mezcla, disminuía la composición aglutinante óptima, sin embargo, el vidrio triturado podría utilizarse hasta el 10% de los agregados finos para mejorar la estabilidad y flujo de la mezcla bituminosa [14].

En el presente trabajo experimental se realizó un análisis del comportamiento de una mezcla asfáltica convencional adicionando asfalto reciclado y partículas de vidrio triturado, para lo cual, se realizó diferentes ensayos de laboratorio con la finalidad de obtener una fórmula maestra que se ajuste a un correcto diseño de mezclas asfálticas.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Analizar la incorporación de vidrio en asfalto reciclado como elemento de refuerzo de la vía Cevallos – Mocha en el tramo KM 0+000 al KM 3+306 de la Provincia de Tungurahua.

Objetivos Específicos

- Analizar la información de estudios realizados de la vía y sobre la incorporación de vidrio en asfalto reciclado.
- Formular alternativas de diseño de la carpeta asfáltica en el pavimento flexible con el uso de vidrio y asfalto reciclado.
- Establecer la fórmula maestra de la mezcla asfáltica mezclada con vidrio.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La presente investigación se dividió en tres fases, en la primera fase se analizó la información de estudios realizados de la vía de estudio y sobre la incorporación de vidrio en asfalto reciclado, posteriormente, en la segunda fase se formuló alternativas de diseño de la carpeta asfáltica en el pavimento flexible con el uso de vidrio y asfalto reciclado y en la fase final, se estableció la fórmula maestra de la mezcla asfáltica mezclada con vidrio y asfalto.

A continuación, se van a describir materiales y métodos empleados en base a las fases mencionadas.

2.1 Materiales

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó materiales y equipos conforme a lo mencionado en las normativas:

- AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials
- ASTM: American Society for Testing and Materials
- MOP: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones
- INEN: Servicio Ecuatoriano de Normalización

Al ser la primera y tercera fase una etapa investigativa, únicamente se utilizó equipo tecnológico y software ingenieril.

En el desarrollo de la segunda fase se empleó, para la extracción de asfalto en la vía una cortadora de asfalto (Marca TEMORESA), para el ensayo de granulometría, un horno a 110 °C (Marca HUMBOLDT), serie de tamices con diferentes aberturas (Marca HUMBOLDT, versión 2011) y una tamizadora (Marca CONTROLS, Versión 15-d0407/BZ).

Por otra parte, en el ensayo de centrifugado se utilizó la máquina de centrifugado (Marca MATEST), así como, para el ensayo de abrasión se empleó 11 esferas metálicas, tamiz #12 y una máquina de abrasión de los ángeles (Marca SIEMENS).

En cuanto al ensayo de contenido de humedad se ocupó un horno de secado a 150°C (Marca CONTROLS), para el ensayo de porcentaje de caras fracturadas se utilizó únicamente una balanza (Marca BOECKEL) y series de tamices, adicionalmente, se

empleó para el desarrollo del ensayo de gravedad específica un termómetro de inmersión, matraz o frasco volumétrico y estufa, posteriormente, para el desarrollo del ensayo Marshall se ocupó el equipo de compactación, una cocineta a gas, termómetro de contacto de 400°C, balanza con 1 décimas de gramo de precisión (Marca BOECKEL+CO, Versión BBL61), baño maría (Marca HUMBOLDT), máquina para pruebas de estabilidad y flujo Marshall (Marca MATEST).

Finalmente, para el ensayo rice se necesitó un picnómetro de vacío (Marca MATEST), base vibratoria eléctrica (Marca SIEVE-SHAKERS), bomba de vacío con motor de 0.5 HP (Marca PIAB), filtro de gel sílice y Vacuómetro graduado.

Cabe recalcar que el uso de balanza (Marca BOECKEL+CO, Versión BBL61) así como el horno de secado a 150°C (Marca CONTROLS) fue empleado en la ejecución de todos los ensayos que requirieron de pesos y secados de muestra.

2.2 Métodos

Como se mencionó anteriormente, la presente investigación se dividió en tres fases que permitió el cumplimiento de los objetivos propuestos, por lo que a continuación se presenta de manera detallada la metodología utilizada en cada una de las fases.

2.2.1 Fase 1: Analizar la información de estudios realizados en la vía y sobre la incorporación de vidrio en asfalto reciclado.

Para el desarrollo de la primera etapa del presente trabajo experimental se empleó un método de investigación bibliográfica en razón a la necesidad de investigar sobre estudios previos realizados en la vía Cevallos-Mocha y a sustituciones parciales de materiales como el vidrio y asfalto reciclado en el diseño de mezclas asfálticas.

Durante la presente fase, se investigó en [15], información necesaria para clasificar el tráfico de la vía de estudio en función del tráfico promedio diario anual (TPDA) y la velocidad de diseño para elegir el requisito granulométrico que deberá cumplir el diseño de la mezcla asfáltica conforme a lo establecido en [11].

Tabla N° 0 1.- Requisitos granulométricos para mezcla en sitio

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	N°4
1" (25.4 mm)	100	--	--	--
3/4" (19.0 mm)	90 - 100	100	--	--

1/2" (12.7 mm)	--	90 – 100	100	--
3/8" (9.50 mm)	56 – 80	--	90 -100	100
N°4 (4.75 mm)	35 – 65	44 – 74	55 – 85	80 -100
N°8 (2.36 mm)	23 – 49	28 – 58	32 – 67	65 – 100
N°16 (1.18 mm)	--	--	--	40 – 80
N°30 (0.60 mm)	--	--	--	25 – 65
N°50 (0.30 mm)	5 - 19	5 – 21	7 – 23	7 – 40
N°100 (0.15 mm)	--	--	--	3 – 20
N°200 (0.075 mm)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 – 10

Fuente: [11]

Tabla N° 0 2.- Criterios de diseño para Mezclas Marshall

Ensayo de acuerdo con el método Marshall	Tráfico Ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Criterios de mezcla						
Número de golpes en cada cara de la probeta	35		50		75	
Estabilidad	750		1200		1800	
	3.3362		5.3379		8.0068	
Flujo en centésimas de pulgada, 0.25mm (0.01 in)	8	18	8	16	8	16
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75
Relación Filler/Betún					0.8	1.2

Fuente: [11]

Adicionalmente, se investigó sobre los porcentajes óptimos de asfalto y porcentajes de adición tanto del vidrio como del asfalto reciclado en artículos científicos relacionados con el tema del trabajo experimental, enfatizando que dicha información permitió cumplir con las fases que se presentan a continuación.

Para finalizar, se indagó sobre sobre la ubicación del tramo km 0+000 al km 3+306 en la vía Cevallos-Mocha, para determinar los puntos en los que se realizaron las extracciones in situ del pavimento reciclado.

2.2.2 Fase 2: Formular alternativas de diseño de la carpeta asfáltica en el pavimento flexible con el uso de vidrio y asfalto reciclado.

En la presente fase, se utilizó el método de muestreo simple para la extracción de planchas de asfalto pertenecientes a la vía de estudio.

2.2.2.1 Obtención pavimento asfáltico reciclado, botellas de vidrio recicladas y agregados pétreos

En primer lugar, se extrajo 1 plancha de 1.50 m x 0.5 m x 0.05 m de cada kilómetro de la vía de estudio, para lo cual, se necesitó una cortadora de asfalto con disco que permita cortar hasta 8 cm de profundidad.

A continuación, se procedió a marcar el área de corte usando tiza industrial blanca, después, se realizaron los cortes de tal modo que cada plancha quede cortada en 3 partes iguales para facilitar su extracción con la punta de una barra de acero de 18 pulgadas.

Finalmente, se procedió a rellenar la cavidad con una mezcla de hormigón y una capa superficial de cemento asfáltico para evitar cualquier accidente después de la extracción realizada.

Ilustración N° 0 1.- Área de corte en asfalto



Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 0 2.- Corte de asfalto en la vía de estudio



Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 0 3.- Extracción de muestras de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Una vez extraídas las planchas de asfalto reciclado, se las llevó a una trituradora mecánica ubicada en la ciudad del Puyo para disgregar a las mismas en partículas más pequeñas.

Ilustración N° 0 4.- Trituración mecánica de asfalto reciclado



Autor: Jorge Fernández

En lo que respecta a los agregados pétreos, estas muestras fueron obtenidos de la planta de asfalto JEAL CONSTRUCCIONES, la cual está ubicada en el sector Las Viñas de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua. Esta planta de asfaltos utiliza agregado triturado de diferentes tamaños para la elaboración de su asfalto, por cual se optó a tomar cantidades considerables del mismo.

Ilustración N° 0 5.- Obtención de agregados en JEAL Construcciones



Autor: Jorge Fernández

Finalmente, el vidrio a utilizar para el diseño de la mezcla asfáltica fue conseguido por medio de reciclado de botellas de cerveza, una vez que las botellas han sido lavadas y secadas por medio del sol, fueron trituradas manualmente con el uso de un combo hasta lograr obtener una granulometría que pase por el tamiz #4.

Ilustración N° 0 6.- Trituración manual de vidrio



Autor: Jorge Fernández

2.2.2.2 Ensayos de laboratorio

Continuando con el desarrollo de esta fase, se realizaron algunos ensayos de laboratorio en orden cronológico aplicando una metodología de tipo experimental. Los ensayos realizados fueron:

2.2.2.2.1 Ensayo de Abrasión a agregados pétreos y materiales reciclados

Este ensayo se rige bajo la norma ASTM C131-01 y sirve para determinar la resistencia a la degradación de áridos gruesos con tamaños menores a 1 ½ pulgada (granulometría estándar) mediante la Máquina de ensayo Los Ángeles [16].

Ilustración N° 0 7.- Ensayo Desgaste por abrasión



Autor: Jorge Fernández

Para empezar, la muestra debe obtenerse conforme a la norma ASTM D75, el peso total y número de esferas conforme al método a utilizar será de acuerdo con la norma mencionada en el párrafo anterior y se lo puede observar en la *Tabla N° 03*.

Una vez obtenida la muestra, se procede a reducir hasta lograr una cantidad adecuada para el ensayo conforme a lo descrito en la norma ASTM C702, se lavan las muestras y se dejan secar en el horno a una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar una masa constante, es importante que la muestra posea una temperatura manipulable a la hora de realizar el ensayo, a continuación, se coloca la muestra y las esferas (carga abrasiva) dentro de la máquina de Los Ángeles y se inicia la rotación a 500 revoluciones entre 30 a 33 revoluciones por minuto.

Adicionalmente, se obtiene la muestra de ensayo y se tamiza utilizando el tamiz #12 en seco, posteriormente, se tamiza en húmedo y la masa que se retuvo en el tamiz mencionado se deja secar en el horno hasta alcanzar una masa constante para así registrar la masa final resultado de la abrasión.

Para el cálculo de desgaste por abrasión del agregado se utilizó la siguiente la Ec. (1):

$$D = \left(\frac{A - B}{A} \right) * 100$$

Ec. (1)

En donde:

D: Desgaste del agregado

A: Peso del agregado antes del ensayo

B: Peso del agregado no gastado después del ensayo

Tabla N° 0 3.- *Peso de agregado y número de Esferas para agregados gruesos hasta de 1 ½” (Ensayo de Abrasión ASTM C-131)*

Método		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
Pasa el tamiz	Retenido en tamiz				
1 ½”	1”	1250±25			
1”	¾”	1250±25			
¾”	½”	1250±25	2500 ± 10		
½”	3/8”	1250±25	2500 ± 10		
3/8”	¼”			2500 ± 10	
¼”	N°4			2500 ± 10	
N°4	N°8				5000 ± 10
Peso total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
N° de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación (minutos)		15	15	15	15

Fuente: [16]

2.2.2.2.2 **Ensayo de Granulometría de los agregados pétreos y materiales reciclados**

Los ensayos granulométricos fueron realizados mediante el uso de tablas y gráficos en los que se determinó las diferentes curvas granulométricas, mismas que, demuestran si los agregados son aptos para utilizarlos en el diseño de la mezcla asfáltica y también si su distribución granulométrica es la apropiada. Adicionalmente, se calculó los Coeficientes de Uniformidad y de Curvatura para analizar la uniformidad de las partículas de suelo y determinar al subgrupo que corresponden los diferentes suelos seleccionados [17].

Este ensayo se apoya en la norma NTE INEN 696 y 697 para agregado grueso y fino respectivamente, se realizó el ensayo granulométrico a las fracciones de agregados

obtenidos en la planta de asfaltos de JEAL CONSTRUCCIONES, para lo cual, se requirió 5 kg de árido grueso, 1 kg de árido medio y 1 kg fino, posteriormente se procedió a secar las muestras en el horno industrial a una temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, por otra parte, se seleccionó y ordenó los tamices que cubren los tamaños de las partículas del material a ensayarse utilizando la *Tabla N°1* como requisito granulométrico para los diferentes porcentaje en peso que debieron pasar a través de los tamices de malla cuadrada, se colocó las muestras en el tamiz superior y se sujetó el grupo de tamices en la maquina tamizadora durante 15 minutos, de tal forma que el 1% en masa después de dicho intervalo de tiempo no pase de ninguno de los tamices utilizados, finalmente se procedió a determinar las masas de cada fracción retenida en los tamices mediante el uso de una balanza, tomando en cuenta que la masa total después del tamizado debe ser igual a la colocada al inicio del ensayo.

Es importante mencionar que el mismo procedimiento fue utilizado para realizar la granulometría del vidrio triturado y asfalto reciclado, siendo preciso resaltar que se tomó una muestra de 5 kg de asfalto reciclado y 504 g de vidrio triturado para su respectivo ensayo.

Ilustración N° 0 8.- Tamizado de agregados para el ensayo de granulometría



Autor: Jorge Fernández

Adicionalmente, se realizó el cálculo del Coeficiente de Uniformidad utilizando la Ec. (2) y Coeficiente de Curvatura usando la Ec. (3), para clasificar a los suelos según el tipo de agregado.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ec. (2)

Donde:

C_u : Coeficiente de uniformidad

D_{60} : Diámetro donde el 60% de las partículas son más pequeñas

D_{10} : Diámetro donde el 10% de las partículas son más pequeñas

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Ec. (3)

Donde:

C_c : Coeficiente de curvatura

D_{30} : Diámetro donde el 30% de las partículas son más pequeñas

Utilizando los coeficientes C_u y C_c , obtenidos del análisis granulométrico se determinó el tipo de suelo en base al criterio para la asignación de símbolos de grupo según la normativa AASHTO y SUCS.

Tabla N° 0 4.- Criterio para la asignación de símbolos de grupo

Suelos de grano grueso			
Gravas	Símbolos de grupo	Arenas	Símbolos de grupo
$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$	GW	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$	SW
$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$	GP	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$	SP

Autor: Jorge Fernández

2.2.2.2.3 Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de agregados gruesos

Este ensayo se basa en la norma ASTM C-127 e INEN-857 y permite determinar el peso específico nominal, aparente y absorción de los agregados gruesos [18].

Este ensayo se lo realizó solamente a los agregados pétreos obtenidos en la planta de asfalto “JEAL Construcciones” y se ensayó la fracción gruesa con tamaños de ¾” y 3/8”.

Para empezar, se sumergió a la muestra de agregado en agua durante un periodo de tiempo de 24 ± 4 horas, después, se retiró la muestra y se secó con una franela de tal forma que se logre absorber el agua presente en la superficie de las partículas, en este punto, es importante tomar medidas de precaución para evitar la evaporación del agua absorbida en por los agregados, inmediatamente, se toma el peso de la muestra en condición saturada con superficie seca o también conocida como S.S.S.

Seguidamente, se colocó las muestras en condición S.S.S en la canastilla sumergida moviéndola para que se pierda todo el aire atrapado y se obtuvo el peso aparente en agua a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, finalmente, se coloca la muestra en el horno a temperatura constante de 110°C durante 24 ± 4 horas y se tomó su peso en la balanza.

Ilustración N° 0 9.- Gravedad específica a Áridos gruesos



Autor: Jorge Fernández

2.2.2.2.4 Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de agregados finos

Este ensayo se basa en la norma ASTM C-128 e INEN-856 y permite determinar el peso específico nominal, aparente y absorción de los agregados finos [19].

Este ensayo se lo realizó solamente a los agregados pétreos obtenidos de la planta de asfalto “JEAL Construcciones” y se tomó una muestra de 1000 g y se sumergió a la muestra de agregado en agua durante un periodo de tiempo de 24 ± 4 horas, después, se retiró el agua con mucho cuidado de no perder finos, se colocó la muestra en una bandeja para empezar con el secado de ésta sometiénola con calor o aire caliente buscando un secado uniforme.

Una vez que la muestra se encontró en condición S.S.S, se colocó una cantidad suficiente en un embudo para luego ser apisonada ligeramente con un total de 25 golpes de la varilla y se levantó el molde verticalmente y de forma cuidadosa. En este punto, fue importante observar si el cono mantenía su forma, lo cual se debió a que las partículas de la muestra aun conservaban humedad, por loque, se siguió frotando en las manos hasta conseguir un desmoronamiento superficial y verificando la condición alcanzada de superficie seca.

A continuación, se pesó el picnómetro y se colocó en su interior la muestra de 500 g, seguidamente, se vertió agua hasta la línea de aforo para posterior a ello tomar el peso de todo el conjunto, luego, se quitó el aire del picnómetro, se midió la temperatura, se

vertió y dejó reposar el contenido en un recipiente con la finalidad de separar el agua de la muestra para determinar el peso. Finalmente se colocó la muestra en el horno durante 24 ± 4 horas y posterior a ello se obtuvo el peso en condición seca.

Ilustración N° 10.- Ensayo Gravedad Específica Agregados Finos



Autor: Jorge Fernández

Es importante mencionar que para el presente trabajo experimental el resultado de gravedad específica y absorción de los agregados finos fue generado mediante un promedio de dos ensayos para garantizar que el resultado sea lo más exacto posible. Adicionalmente, se utilizó la Ec. (4) para determinar la gravedad específica con la cual se trabajará en el diseño de las mezclas asfálticas.

$$G_s = \frac{100}{\frac{53}{G_{s,Ag.fino}} + \frac{47}{G_{s,Ag.Grueso}}}$$

Ec. (4)

Donde:

Gs.Ag.fino: Gravedad específica del agregado fino

Gs.Ag.Grueso: Gravedad específica del agregado grueso

2.2.2.2.5 Ensayo de Porcentaje de Caras Fracturadas en agregados pétreos

Este ensayo trabaja bajo la norma ASTM D 5821 y se enfoca en determinar el porcentaje en peso del material que posee una o más caras fracturadas en una muestra de agregados pétreos [20].

Para el desarrollo de este ensayo, primero, se tomó una muestra representativa del promedio del agregado el cual se obtuvo mediante cuarteo, posterior, se separó a través de tamizado la fracción comprendida entre los tamaños $1 \frac{1}{2}$ " y $3/8$ " descartando el

resto de la muestra que no se encuentre entre los tamaños mencionados, a continuación, se determinó el peso total a ocupar de la muestra el cual dependió del tamaño del agregado como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 0 5.- *Peso total de la muestra según el tamaño del agregado*

Tamaño del agregado	Peso en gramos
1 ½" a 1"	2000
1" a ¾"	1500
¾" a ½"	1200
½" a ⅜"	300

Fuente: [20]

Seguidamente, se esparció la muestra de tal modo que se pudo inspeccionar cada una de las partículas presentes para separar las partículas fracturadas, cuestionables y no fracturadas, finalmente, se tomó el peso de los tres diferentes grupos y se utilizó la Ec. (5) para determinar el porcentaje de caras fracturadas:

$$P = \frac{F + \left(\frac{Q}{2}\right)}{F + Q + N} * 100$$

Ec. (5)

Donde:

P: % de caras fracturadas

F: Peso de las partículas fracturadas (g)

Q: Peso de las partículas cuestionables (g)

N: Peso de las partículas no fracturadas (g)

Ilustración N° 11.- *Ensayo porcentaje de caras fracturadas al agregado grueso*



Autor: Jorge Fernández

2.2.2.2.6 Ensayo de Centrifugado del asfalto reciclado

Es preciso mencionar que para este ensayo fue necesario guiarse de la norma ASTM D 2172, puesto que, esta norma hace énfasis a la determinación cuantitativa del asfalto en mezclas asfálticas en caliente y muestras de pavimentos para su posterior análisis granulométrico de agregados mediante la norma ASTM C-117 y ASTM C-136.

Primero, se preparó la muestra para el ensayo dejándola reposar dentro del horno de secado a una temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta obtener una buena manejabilidad, después, se cuarteó el material hasta obtener el peso requerido del ensayo, dicho peso o cantidad de muestra se la determina según el tamaño máximo nominal del agregado en la mezcla y tomando en cuenta la tabla que se muestra a continuación.

Tabla N° 0 6.- Tamaño máximo nominal del agregado

Tamaño nominal máximo de agregado (mm)	Peso mínimo de la muestra (kg)
#4 (4.75 mm)	0.5
3/8" (9.5mm)	1.0
1/2" (12.5 mm)	1.5
3/4" (19 mm)	2.0
1" (25.0 mm)	3.0
1 1/2" (37.5 mm)	4.0

Fuente: [21]

A continuación, se colocó la porción de muestra en una tara y se anotó el peso de la mezcla, después, se colocó el filtro para el ensayo en el horno a una temperatura de 105°C para descartar una posible humedad en el mismo, seguido, se tomó el peso del filtro inicial en gramos y se procedió a distribuir la muestra en el plato de la máquina de centrifugado, evitándose cualquier pérdida de material.

Lista la muestra en el plato del equipo, se colocó el solvente (gasolina super) sobre dicha muestra y se mezcló con la ayuda de una espátula de punta redonda para facilitar el desprendimiento del ligante.

En este punto del ensayo fue importante dejar reposar la muestra con el solvente durante 1 hora, posteriormente, se colocó el filtro y la tapa del equipo para iniciar las revoluciones de forma graduada hasta llegar a un máximo de 3600 rpm, se colocó

solvente y se anotó la cantidad en ml que se agregó a la muestra, este paso se lo realizó hasta que el solvente salga limpio o con un color pajizo (amarillo pálido).

Continuando, se desmotó la tapa del equipó y limpió el filtro con una espátula para colocar el material adherido en un recipiente, el mismo proceso se realizó a la muestra ya ensayada del plato del equipo, inmediatamente, con la ayuda de una brocha de limpia el material adherido y se lo coloca dentro del recipiente para evitar pérdidas del material.

Seguidamente, se colocó el filtro a una temperatura de 110°C durante 18 a 24 horas, luego se anotó el peso de la cápsula de porcelana (recipiente) en gramos y se recoge el total de alícuota extraída para medir su volumen en una probeta graduada de hasta 1000 ml.

A continuación, se homogenizó la probeta con el fluido agitándola para luego tomar 50ml en una probeta de 100 ml y se coloca la totalidad en un recipiente de porcelana el cual deberá estar asentado sobre un plato caliente para lograr una evaporación suficiente de la alícuota y después trasladarlo al horno.

Una vez evaporada la alícuota se colocó el recipiente en el horno a una temperatura de 500°C – 600°C hasta alcanzar un color rojo sombra. Después, se dejó enfriar a temperatura ambiente evitando la corriente de aire, se pesa el recipiente con la muestra y se lo anotó como peso recipiente + residuo en gramos, adicionalmente, se pesó el filtro como peso del filtro final en gramos y finalmente, ya seca la muestra (al menos 16 horas) se registró como peso del agregado en gramos.

Ilustración N° 12.- Centrifugado de Asfalto Reciclado



Autor: Jorge Fernández

2.2.2.2.7 Granulometría de la mezcla asfáltica

La granulometría para la mezcla asfáltica se diseñó tomando en cuenta el tipo de tráfico presente en la vía de estudio y para ello se tomó en cuenta la *Tabla N° 1*, por lo tanto, la dosificación se realizó respetando los porcentajes en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada dependiendo del tipo de diseño y recordando que la finalidad es conseguir los 1200 g para cada briqueta con diferente porcentaje de asfalto.

Ilustración N° 13.- Granulometría para diseño de mezcla asfáltica



Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 14.- Granulometría del vidrio triturado



Autor: Jorge Fernández

2.2.2.2.8 **Elaboración de briquetas, Método Marshall**

Realizada la granulometría para el diseño de las mezclas asfálticas, se colocó en un recipiente las diferentes fracciones de áridos para realizar la mezcla asfáltica, para ello, se introdujo la muestra de agregados con el recipiente en el horno de secado a una temperatura de 140°C – 150°C, adicional, se calentó el ligante (betún asfáltico) en una olla hasta alcanzar la misma temperatura de la muestra mencionada, posteriormente, se mezcló la muestra de agregados con el ligante asfáltico de tal forma que todas las caras de los agregados sean cubiertas del ligante.

A continuación, se colocó la mezcla asfáltica en un recipiente y se lo dejó durante al menos 2 horas en el horno hasta que alcance una temperatura homogénea de 150°C para iniciar con el proceso de compactación.

Fue muy importante dejar en el horno los moldes en los que se van a elaborar las briquetas para de esta forma evitar que la mezcla asfáltica se pegue en su totalidad al molde al momento de extraer la briqueta.

Una vez que la mezcla asfáltica y los moldes alcanzaron la temperatura mencionada, se procedió a colocar papel encerado para evitar que la mezcla se pegue a la base del molde y martillo de compactación, inmediatamente se colocó el molde sobre la balanza encerándola para colocar 1200 g de mezcla asfáltica dentro del molde

Seguidamente, se colocó el molde con la muestra en el pedestal de compactación y con la ayuda de una espátula de punta redondeada se realizó 15 penetraciones en el perímetro interno del molde y 10 al azar, después, se realizó 75 golpes a cada cara de la briqueta con el martillo compactador puesto que ese es el procedimiento descrito por la norma y se dejó secar la briqueta junto con el molde durante 2 horas.

Pasadas 2 horas, se procedió a extraer la briqueta con la ayuda de la prensa y se dejó secar durante toda la noche al aire libre.

Ilustración N° 15.- Elaboración de briquetas



Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 16.- Briquetas elaboradas



Autor: Jorge Fernández

2.2.2.2.9 Ensayo Marshall para el Diseño de Mezclas Bituminosas Asfálticas

Este método tiene por objetivo, determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, la norma que rige este ensayo es la AASHTO T 245, ASTM D 1559 y AASHTO T 22.

Después de haber dejado enfriar la briqueta durante toda la noche, se colocó la briqueta en baño maría durante 5 minutos y a una temperatura de 25°C, después, se tomó el peso de la briqueta seca en aire, sumergida en agua y S.S.S en aire, 4 horas después, se colocó la briqueta en baño maría durante 30 minutos y a una temperatura constante de 60°C, finalmente, pasado el tiempo mencionado, se retiró la briqueta y se realizó el ensayo en el equipo Marshall para determinar la estabilidad y flujo.

El procedimiento mencionado para realizar briquetas se lo hizo 3 veces por cada porcentaje de asfalto, dando un total de 15 veces para cumplir con el objetivo de determinar valores de estabilidad y flujo.

Para encontrar el porcentaje óptimo de asfalto fue realizado el método Marshall-Diseño de mezcla asfáltica convencional en donde se reemplazaron datos ya calculados como: espesor briqueta, peso de esta en diferentes circunstancias, peso específico máximo medido (Método Rice), lectura de estabilidad, factores de corrección, y valor de flujo obtenido en cada briqueta.

Con los datos mencionados en el párrafo anterior se calculó parámetros de diseño como:

- **Peso específico Bulk de las probetas compactadas**

Este valor se determinó mediante la Ec. (6):

$$\frac{D}{E - F}$$

Ec. (6)

En donde:

D: Peso en gramos de la briqueta seca en aire

E: Peso en gramos de la briqueta S.S.S en aire

F: Peso en gramos de la briqueta sumergida en agua

- **Peso específico máximo teórico**

Este valor se lo calcula por cada porcentaje de asfalto utilizado y para ello se utilizó La Ec. (7):

$$\frac{100}{\frac{\%Agregado}{G_{agregado}} + \frac{\% C.A}{G_{asfalto}}}$$

Ec. (7)

En donde:

C.A: Cemento asfáltico

- **Porcentaje de absorción de asfalto por peso del agregado seco**

Este valor es calculado para cada porcentaje de cemento asfáltico mediante la Ec. (8):

$$\frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \%Agregado}$$

Ec. (8)

En donde:

I: Peso específico máximo medido (Rice)

H: Peso específico máximo teórico

- **Porcentaje volumétrico ocupado por el agregado con respecto al volumen de la probeta**

Este valor es obtenido utilizando la Ec. (9):

$$\frac{\%Agregado * G}{G_{agregado}}$$

Ec. (9)

En donde:

G: Peso específico Bulk

- **Porcentaje de vacíos con aire**

Este valor se lo calculó con respecto al volumen total de la probeta y para ello se utilizó la Ec. (10):

$$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$$

Ec. (10)

En donde:

I: Peso específico máximo medido

- **Volumen de asfalto efectivo**

Este dato es tomado como porcentaje del volumen total de la probeta y su cálculo se lo realizó mediante la Ec. (11):

$$100 - K - L$$

Ec. (11)

En donde:

K: Volumen % total del agregado

L: Volumen % total vacíos con aire

- **Porcentaje de vacíos que contiene el agregado**

Para determinar el porcentaje de vacíos existente en el agregado se utilizó la Ec. (12):

$$100 - K$$

Ec. (12)

- **Contenido efectivo de asfalto**

Este valor es respecto a la mezcla y se calculó mediante la Ec. (13):

$$\%C.A - \frac{J * \%Agregado}{100}$$

Ec. (13)

En donde:

J: Asfalto absorbido %

- **Porcentaje de vacíos llenos de asfalto**

Para el cálculo de dicho porcentaje se utilizó la Ec. (14)

$$\frac{N - L}{N} * 100$$

Ec. (14)

En donde:

N: vacíos en agregados minerales

L: Volumen % total vacíos con aire

- **Rectificación de valores de estabilidad**

Este valor se lo determinó utilizando la Ec. (15):

$$Q * R$$

Ec. (15)

En donde:

Q: Lectura del dial con respecto a la estabilidad

R: Factor de corrección con respecto a la estabilidad

Una vez determinados todos los parámetros mencionados anteriormente, se obtuvo el contenido óptimo de asfalto graficando las siguientes relaciones:

- Porcentaje de cemento asfáltico para la máxima densidad o peso específico
- Porcentaje de cemento asfáltico correspondiente al 4% del índice de vacíos
- Porcentaje de cemento asfáltico correspondiente a la máxima estabilidad

Finalmente, se realizó un promedio de los tres valores obtenidos de las relaciones mencionadas para determinar el equivalente al porcentaje óptimo de asfáltico. Fue importante revisar que la mezcla asfáltica cumple con los parámetros Marshall determinados, este análisis se lo realiza conforme a la información detallada en la *Tabla N° 2*.

Ilustración N° 17.- Ensayo de briquetas en máquina Marshall



Autor: Jorge Fernández

2.2.2.2.10 Ensayo Rice o Gravedad Específica Máxima Teórica

Con este ensayo se logró determinar la gravedad específica teórica máxima y la densidad de la mezcla asfáltica no compactada a una temperatura de 25°C, para ello, se colocó la briqueta ensayada con la máquina Marshall en un recipiente o tara a una temperatura de 150°C para que los áridos gruesos y finos empiecen a soltarse del ligante asfáltico.

Después de la separación de partículas con una espátula de punta redondeada, se dejó enfriar a temperatura ambiente, y adicionalmente se tomó el peso del recipiente vacío, lleno de agua y finalmente con la muestra.

Se colocó una cantidad de agua suficiente para cubrir la muestra, se tapó el recipiente con la cubierta transparente y colocó el agitador, se verificó que no existan fugas en el picnómetro y encendida la bomba se mantuvo el equipo funcionando durante 15 minutos para después liberar lentamente la presión del recipiente y retirar el dispositivo agitador.

A continuación, se llenó el recipiente con agua y se lo tapó para liberar el exceso del líquido. Luego, se colocó en la balanza con el fin de determinar su peso. Finalmente, se tomaron los pesos obtenidos.

Para el cálculo de la gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica se utilizó la Ec. (16):

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

Ec. (16)

Donde:

A: Peso de la muestra

E: Peso de la muestra +frasco + agua a una temperatura de 25°C

D: Peso frasco + agua a una temperatura de 25°C

Es preciso resaltar que el procedimiento mencionado anteriormente fue realizado para las 5 muestras con diferente porcentaje de asfalto y para las 5 briquetas con adición de asfalto reciclado y vidrio.

Ilustración N° 18.- Ensayo Rice



Autor: Jorge Fernández

2.2.2.3 Diseño del Pavimento Flexible Método AASHTO 93

Este ensayo sirvió para determinar el módulo resiliente del suelo presente en la vía de estudio y número estructural el cuál muestra el espesor requerido para cada capa que conforma la estructura del pavimento flexible.

Para determinar el número estructural (SN) fue necesario llenar los datos presentes en la siguiente tabla:

Tabla N° 0 7.- Datos para el diseño de pavimento flexible

Datos para el diseño de pavimento		
Tipo de pavimento Clasificación de la vía Tráfico promedio diario anual para 2042 Periodo de diseño		Flexible
Descripción	Símbolo	Valores
W18 Diseño	W18	
CBR Diseño (subrasante)	CBR [%]	
Confiabilidad	R [R]	
Desviación estándar normal	Zr	
Desviación estándar global	So	
Índice de serviciabilidad	PSI	
Módulo de resiliencia de la subrasante	Mr [Psi]	
Módulo de resiliencia de la carpeta asfáltica	Mr CA [Psi]	
Módulo de resiliencia de la base	Mr B [Psi]	
Módulo de resiliencia de la Sub-base	Mr SB [Psi]	
Coficiente estructural de la carpeta asfáltica	a1 [cm]	
Coficiente estructural de la base	a2 [cm]	
Coficiente estructural de la Sub-base	a3 [cm]	
Coficiente de drenaje	m2 (base)	
	m3 (Sub-base)	

Autor: Jorge Fernández

Todos los datos adquiridos para este diseño se los recolectó de forma investigativa de en la tesis “IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA CAPA DE RODADURA DE LA VÍA CEVALLOS - MOCHA EN EL TRAMO KM 0 + 000 AL KM 4 + 960 DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”, y tomando en cuenta algunos criterios técnicos como los que se muestran a continuación.

- **Clasificación de la vía:** Fue clasificada en función al TPDA futuro.

Tabla N° 0 8.- Carreteras según el TPDA

Función de la vía	Clase de Carretera	TPDA
Corredor artificial	RI o RII	Más de 8000
	I	3000 a 8000
Colectora	II	1000 a 3000
	III	300 a 1000
Vecinal	IV	100 a 300
	V	Menos de 100

Fuente: AASHTO 1993, Guía para el diseño de la estructura del pavimento [22]

- **Período de diseño:** Fue determinado en base a la tabla presentada por la normativa AASHTO-93, misma que, es exactamente el tiempo en el que se supone que durará la estructura del pavimento flexible hasta su serviciabilidad final.

Tabla N° 0 9.- Periodo de diseño según el tipo de carretera

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Urbana – alto volumen de tránsito	30 - 50
Rural – alto volumen de tránsito	20 - 50
Pavimentada – bajo volumen de tránsito	15 - 25
Revestida – bajo volumen de tránsito	10 - 20

Fuente: AASHTO 1993, Guía para el diseño de la estructura del pavimento [22]

- **Número de ejes equivalentes:** Se obtuvo de los resultados ya determinados en [15].
- **CBR Diseño (subrasante):** Se tomó valor más bajo de CBR de subrasante presente en las diferentes muestras de [15]. La razón de lo mencionado anteriormente es porque al ser un resultado bajo de CBR, se esperó que el diseño se adapte a cargas variables, sea flexible y resulte en una construcción más económica.
- **Confiabledad (R):** Este valor se obtuvo mediante la siguiente tabla presente de la norma AASHTO 93.

Tabla N° 10.- Nivel de confianza según la clasificación de la carretera

Clasificación	Nivel de confianza recomendado	
	Urbano	Rural
Interestatal y Autopista	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Calles colectoras	80 – 95	75 – 95
Calles locales	50 – 80	50 - 80

Fuente: AASHTO 1993, guía para el diseño de la estructura del pavimento.

- **Desviación estándar normal (Zr):** Se encuentra relacionada con el nivel de confiabilidad R.

Tabla N° 11.- Desviación Estándar normal (Zr)

Confiabilidad (R)	Desviación estándar (Zr)
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: AASHTO 1993, Guía para el diseño de la estructura del pavimento [22]

- **Desviación estándar global (So):** La variación del comportamiento del pavimento flexible se determinó mediante la siguiente tabla.

Tabla N° 12.- Desviación global (So)

Desviación Estándar Normal (So)	
Pavimento rígido	0.30 – 0.40
Pavimento flexible	0.40 – 0.50

Fuente: AASHTO 1993, Guía para el diseño de la estructura del pavimento[22]

- **Índice de serviciabilidad:** Este valor fue determinado utilizando la siguiente ecuación.

$$\Delta PSI = PSI_{Inicial} - PSI_{Final}$$

Ec. (17)

Donde:

ΔPSI: Pérdida de serviciabilidad

PSI inicial: Serviciabilidad inicial

PSI final: Serviciabilidad final

Módulo de resiliencia (Mr): Este valor fue determinado utilizando la Ec. (18), Ec. (19) y Ec. (20) dependiendo del porcentaje de CBR.

$$Mr(PSI) = 3000 * CBR \text{ (} CBR > 10\% \text{)}$$

Ec. (18)

$$Mr(PSI) = 3000 * CBR^{0.65} \text{ (} 10\% < CBR < 20\% \text{)}$$

Ec. (19)

$Mr(PSI) = 4326 \ln(CBR) + 241 \text{ (} CBR > 20\% \text{), para suelos granulares}$

Ec. (20)

- **Coefficientes estructurales del paquete estructural (SN):** Los espesores de las diferentes capas de la estructura del pavimento se calcularon usando el software ingenieril “AASHTO 93”.

Ilustración N° 19.- Programa AASHTO 93

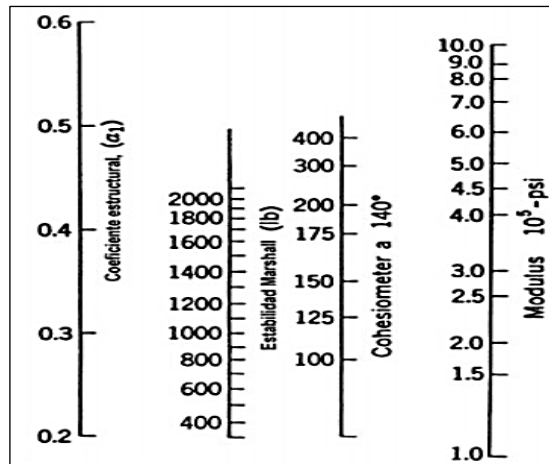
Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Los valores de “SN” se calcularon de la siguiente forma:

1. SN1, se utilizó el módulo resiliente de la base
2. Para SN2, se utilizó el módulo resiliente de la Sub-base
3. Para SN3, se utilizó el módulo resiliente de la Subrasante

- **Coefficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1):** Este coeficiente se lo calculó tomando el valor recomendado por la norma AASHTO 93, valor mínimo de estabilidad Marshall para vehículos pesados igual a 1800lb. Dicha estabilidad fue utilizada en el siguiente nomograma.

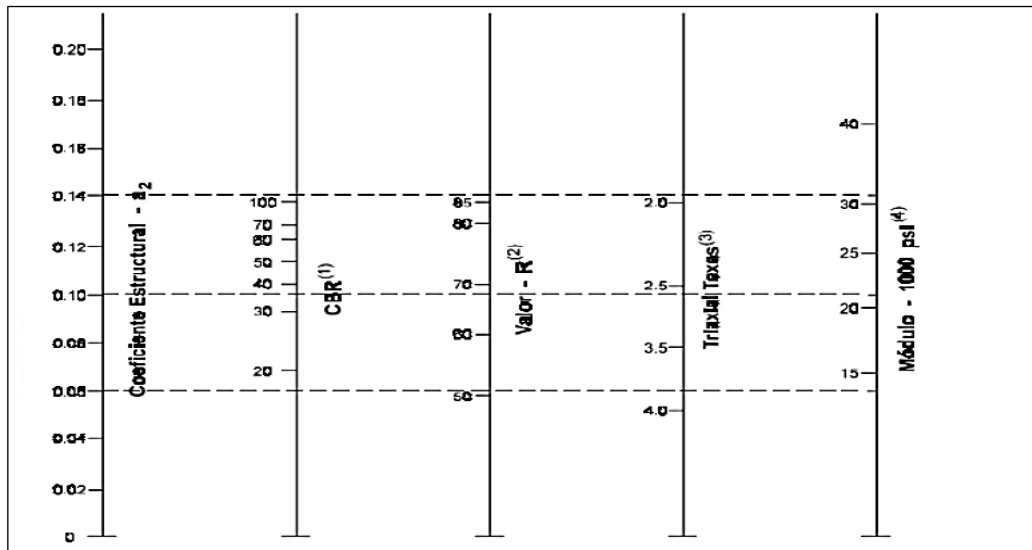
Ilustración N° 20.- Nomograma para estimar el coeficiente estructural a1 para la carpeta asfáltica



Fuente: AASHTO 1993, Guía para el diseño de la estructura del pavimento[22]

- **Coefficiente estructural de la base (a2):** Este coeficiente fue determinado utilizando el porcentaje de CBR mínimo para bases según lo establece la norma MTOP, dicho valor es del 80% y se lo colocó en el siguiente nomograma.

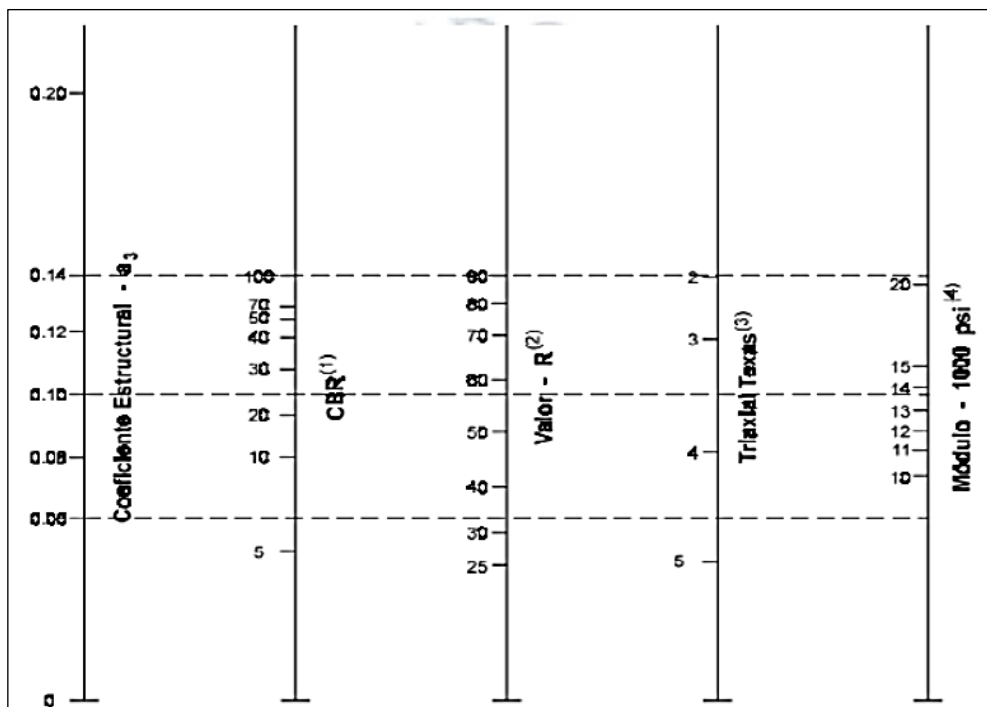
Ilustración N° 21.- Nomograma para estimar el coeficiente estructural a2 para una capa base granular



Fuente: AASHTO 1993, Guía para el diseño de la estructura del pavimento[22]

- **Coeficiente estructural de la base (a₂):** Este coeficiente fue determinado utilizando el porcentaje de CBR mínimo para subbases según lo establece la norma MTOP, dicho valor es del 30% y se lo colocó en el siguiente nomograma.

Ilustración N° 22.- Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase



Fuente: AASHTO 1993, Guía para el diseño de la estructura del pavimento [22]

- **Coefficiente de drenaje (m2 y m3):** Este coeficiente se lo obtuvo de acuerdo con el anuario meteorológico concebido por el INAMHI, la estación meteorológica a analizar es la más cercana a la zona de estudio. La calidad de drenaje se lo conoció analizando la localidad en la que se encuentra la vía de estudio y se la categorizó mediante la siguiente tabla.

Tabla N° 13.- Calidad del drenaje

Calidad del drenaje	Agua eliminada en:
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Deficiente	Agua no drenada

Fuente: AASHTO 1993, Guía para el diseño de la estructura del pavimento [22]

El coeficiente de drenaje se lo calculó tomando la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla N° 14.- Coeficiente de drenaje

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1
Regular	1.25 – 1.05	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.8
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.6
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.4

Fuente: AASHTO 1993, Guía para el diseño de la estructura del pavimento [22]

- **Espesores mínimos:** Fue necesario tomar en cuenta espesores mínimos para las diferentes capas de la estructura del pavimento flexible, dichos valores se encuentran en la Tabla N° 15 presentada por la AASHTO 93.

Tabla N° 15.- Espesores mínimos AASHTO 93

Eje W 8.2 Ton	Carpeta asfáltica D1 (cm)	Capa base D2 (cm)
Menos de 50 000	3.0	10.0
50 001 a 150 000	5.0	10.0
150 001 a 500 000	6.5	10.0
500 001 a 200 000	7.5	15.0
2 000 001 a 7 000 000	9.0	15.0
> 7 000 000	10.0	15.0

Fuente: AASHTO 1993, Guía para el diseño de la estructura del pavimento [22]

- **Espesores finales del paquete estructural:** Se calculó mediante ecuaciones propuestas por la norma AASHTO 93.

I. SN1 (Carpeta estructural), para su cálculo se utilizó la Ec. (21):

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

Ec. (21)

Donde:

D1: Espesor mínimo de la carpeta asfáltica

a1: Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica

II. SN2 (Base), para su cálculo se utilizó la Ec. (22):

$$SN_2 = a_2 * D_2 * m_2$$

Ec. (22)

Donde:

D2: Espesor mínimo de la capa base

a2: Coeficiente estructural de capa base

m2: Coeficiente de drenaje

III. SN3 (Sub-base), para su cálculo se utilizó la Ec. (23):

$$SN_3 = a_3 * D_3 * m_3$$

Ec. (23)

Donde:

D3: Espesor mínimo de la capa de Sub-base

a3: Coeficiente estructural de capa de Sub-base

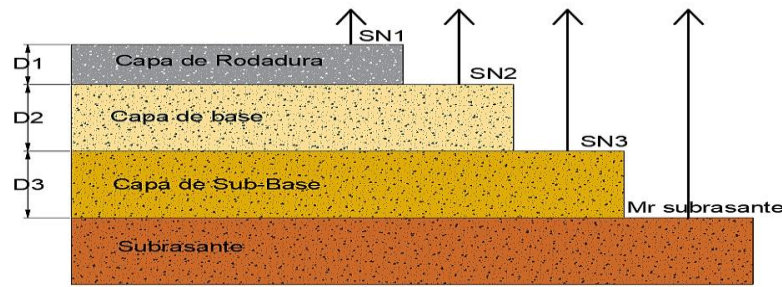
m3: Coeficiente de drenaje

- **Comprobación del diseño:** Fue necesario utilizar la siguiente ecuación proporcionada por la norma AASHTO 9.

$$\sum SN \text{ (Calculado)} \geq SN \text{ (Programa)}$$

Ec. (24)

Ilustración N° 23.- Paquete estructural del pavimento



Autor: Jorge Fernández

2.2.3 Fase 3: Establecer la fórmula maestra de la mezcla asfáltica combinada con vidrio y pavimento asfáltico reciclado.

En la presente fase, se utilizó el método de investigación cuantitativo en razón a que se ocuparon los datos obtenidos en los ensayos mencionados Rice y Método Marshall para el Diseño de Mezclas Asfálticas para determinar si la mezcla asfáltica cumple con los criterios Marshall y con ello el porcentaje óptimo de asfalto.

Vale la pena mencionar que el procedimiento en cuestión sirvió para determinar el porcentaje óptimo de asfalto y con ello la fórmula maestra tanto para las briquetas convencionales, briquetas con sustitución parcial solo de vidrio, asfalto y briquetas con sustitución parcial de asfalto reciclado y vidrio triturado. La fórmula maestra mencionada se determinó en función al Porcentaje de AC-20 obtenido en cada fracción que conforma la mezcla asfáltica, utilizando el formato presentado en la *Tabla N°16*.

Tabla N° 16.- Formato fórmula maestra de mezclas asfálticas

Fórmula maestra de la mezcla asfáltica convencional realizada	
Materiales	Porcentaje (%)
Fracción de Agregado Grueso	
Fracción de Agregado Fino	
Filler	
Cemento Asfáltico	

Autor: Jorge Fernández

Es importante mencionar que, el porcentaje debe ser determinado en función a la cantidad de cada fracción que contenga la mezcla asfáltica a analizar, de esta forma, existen casos en que las mezclas asfálticas contienen un porcentaje del material reciclado en una sola fracción o en todas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

En el presente capítulo se expondrán los resultados de cada uno de los ensayos llevados a cabo en el laboratorio. Estos ensayos fueron realizados secuencialmente para cumplir con los objetivos establecidos en el presente trabajo experimental.

3.1.1 Fase 1

La presente fase trata sobre el análisis de información investigada para el desarrollo del trabajo experimental en cuestión. A continuación, se presentan resultados de investigaciones previas efectuadas a la vía Cevallos-Mocha y a materiales reciclados los cuales fueron implementaron en la elaboración de diferentes mezclas asfálticas.

3.1.1.1 Datos recopilados de la vía de estudio

Tabla N° 17.- Resultados de estudios realizados en la vía de estudio

Estudio	Resultados	Unidad o tipo	Fuente
<i>TPDA (actual)</i>	3602	vehículos/día	[15]
	1315	vehículos/día	
<i>TPDA_f</i>	7201	vehículos/día	
	2640	vehículos/día	
CBR (subrasante)	15.70	%	
ESAL (número de ejes equivalentes)	327064	adimensional	
	114811	adimensional	
Tipo de Vía	Colectora II	Rural	
Límite Líquido (LL)	29.97	%	
Límite Plástico (LP)	21.42	%	
Índice Plástico (Ip)	8.55	%	

Autor: Jorge Fernández

3.1.1.2 Datos recopilados sobre la implementación de vidrio triturado en mezclas asfálticas

Tabla N° 18.- Resultados de estudios realizados para la implementación de vidrio triturado para el diseño de mezclas asfálticas

Estudio	Resultados	Unidad o tipo	Fuentes
Implementación	3,6, 9, 12 y 15	%	[14]
	5, 10, 15	%	[13]
Porcentaje óptimo	12	%	[14]
	10 al 15	%	[13]
Reemplazo	Agregado fino	%	[14] y [13]

Autor: Jorge Fernández

3.1.1.3 Datos recopilados sobre la implementación de RAP en mezclas asfálticas

Tabla N° 19.- Resultados de estudios realizados para la implementación de pavimento asfáltico reciclado en el diseño de mezclas asfálticas

Estudio	Resultados	Unidad	Autor
Implementación	Porcentajes < 30	%	[19]

Fuente: Jorge Fernández

Interpretación: Al no obtenerse datos relacionados a investigaciones sobre la implementación de pavimento asfáltico reciclado con vidrio triturado, se optó por indagar información en donde dichos materiales reciclados son utilizados individualmente, por lo que, las *Tablas N°18* y *Tabla N°19*, muestran los resultados obtenidos en dichas investigaciones, las cuales fueron una base fundamental para la realización de nuevas mezclas asfálticas ejecutadas en el presente trabajo experimental.

De igual manera, los datos plasmados en la *Tabla N°17*, sirvieron de referencia para el cálculo de los números estructurales pertenecientes a cada capa del diseño de la estructura del pavimento, finalmente, permitió establecer el tipo de diseño realizado y con ello el número de golpes aplicado en el método Marshall para el diseño de las mezclas asfálticas.

3.1.2 Fase 2

Esta fase, hace referencia al diseño del pavimento flexible, mismo que, en función del tipo de tráfico, se optó por un diseño de ¾" acorde a la *Tabla N° 01*, dicho diseño puede ser aplicado en la carpeta asfáltica de la vía de estudio, para ello, se realizaron diferentes alternativas de diseño de mezclas asfálticas en caliente, Método Marshall.

Es necesario mencionar que, para llevar a cabo las diferentes alternativas de diseño de mezclas asfálticas en las que se implementó vidrio triturado y pavimento asfáltico reciclado, fue preciso elaborar una mezcla asfáltica convencional la cual permitió realizar una comparación de resultados.

A continuación, se muestran los análisis de los resultados obtenidos en varios ensayos de laboratorio realizados a los agregados y materiales reciclados que fueron incorporados a las mezclas asfálticas mencionadas, teniendo como propósito, determinar sus propiedades físicas y mecánicas las cuales permitieron realizar una

buena dosificación granulométrica de las briquetas elaboradas con agregados pétreos, vidrio y pavimento asfáltico reciclado.

3.1.2.1 Análisis de los ensayos realizados a los agregados pétreos obtenidos en la planta de asfalto “JEAL Construcciones”

Para determinar las propiedades mecánicas de los agregados se realizaron ensayos como: Granulometría del agregado grueso y fino, Gravedad específica y absorción del agregado grueso y fino, Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso y Porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso.

3.1.2.1.1 Resultado del ensayo “Granulometría del agregado grueso y fino”

Los resultados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 1, sin embargo, se presenta un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla N° 20.- Resultados de la granulometría de los agregados

Coeficiente	Materiales pétreos		
	Agregado grueso 3/4”	Agregado intermedio 3/8”	Agregado fino
D10	0.32	0.11	0.08
D30	1.88	0.74	0.32
D60	5.27	3.23	1.02
C_u	16.45	30.64	12.34
C_c	2.09	1.60	1.18
Módulo finura	-	-	2.85%
Criterio	GW	GW	SW

Fuente: Jorge Fernández

Interpretación: El módulo de finura determinado del agregado fino fue de 2.85%, mismo que, se encuentra dentro del rango permitido ($2.1 \leq MF \leq 3.1$) por la norma INEN 696.

Al obtenerse un valor $C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$ en el agregado de 3/4” y 3/8”, se asigna a dichas fracciones como Gravas Bien Graduadas (GW), por otra parte, al haberse obtenido un valor de $C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$, se designa a dicha fracción como Arena Bien Graduada (SW).

De los resultados obtenidos, se observó que los agregados gruesos (3/4”), agregados intermedios (3/8”) y finos se encuentran entre los límites establecidos por el MOP-001-F 2002, CAPÍTULO 400, *Tabla N° 01*. Por lo tanto, los agregados pétreos fueron

aptos para la elaboración de la mezcla asfáltica convencional y mezclas asfálticas con sustitución parcial de asfalto reciclado y vidrio triturado.

3.1.2.1.2 Resultados del ensayo “Gravedad específica y absorción del agregado grueso, fino y total”

En la ejecución del presente ensayo, se obtuvieron los resultados presentados en el Anexo 2, los cuales, se presentan a continuación mediante una tabla resumen:

Tabla N° 21.- Resumen de resultados de los ensayos de Gs y Abs realizado a los agregados pétreos

Gravedad Específica y Porcentaje de Absorción		
Agregado	Gs	Abs (%)
Grueso e Intermedio	2.491	2.741
Fino	2.657	1.833
	2.657	1.792

Fuente: Jorge Fernández

Tabla N° 22.- Resultado de Gravedad específica total

Gravedad Específica Total	
Agregado	Gs
Grueso, intermedio y fino	2.576

Fuente: Jorge Fernández

Interpretación: Debido a que las especificaciones técnicas del MOP-001-F 2002 no mencionan un rango en especial que deberían cumplir los agregados, los resultados obtenidos no se encuentran sujetos a verificación alguna y se los consideró válidos para el diseño de la mezcla asfáltica.

Para el agregado grueso e intermedio, se determinó un valor para Gs de 2.491, perteneciente a un material de tipo granular y con capacidad de Absorción de 2.741%, de igual forma, en el agregado fino se determinó un valor para Gs de 2.657 y capacidad de Absorción de 1.812%.

Tomando los valores de Gs tanto del agregado grueso, intermedio y fino, se obtuvo como resultado final un valor de Gs= 2.576, valor el cual fue utilizado en el ensayo Marshall de la mezcla asfáltica para determinar el contenido óptimo de asfalto.

3.1.2.1.3 Resultados del ensayo “Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso”

En el presente ensayo, se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla N° 23.- Resultado del ensayo "Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso"

Ensayo Resistencia al Desgaste por Abrasión	
Agregado	Desgaste del agregado (%)
Grueso e Intermedio	26.868

Fuente: Jorge Fernández

Los resultados detallados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 3.

Interpretación: El valor de desgaste por abrasión del agregado ensayado fue de 26.868%, lo cual indica que, es de buena calidad y pertenece al grupo de gravas bien graduadas gracias a su resistencia al desgaste por abrasión superficial. Por otra parte, como el resultado es menor al 40% mencionado por la MOP-001-F 2002 CAPÍTULO 811-2. Agregados para Mezcla en Planta pág. VIII-82, es viable utilizar el agregado para el diseño de la mezcla asfáltica.

3.1.2.1.4 Resultado del ensayo “Porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso”

Este ensayo tuvo enfoque cualitativo-cuantitativo y se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla N° 24.- Resultado del ensayo "Porcentaje de Caras Fracturadas"

Ensayo Porcentaje de caras fracturadas	
Agregado grueso	97.8 %

Autor: Jorge Fernández

Los resultados detallados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 4.

Interpretación: El resultado del ensayo realizado a la fracción de agregado grueso fue **97.8%**, lo cual indica que sus partículas sí poseen angularidad, producto del proceso de trituración. Por otro lado, el agregado cumple con los requisitos del MOP-001-F 2002 y debido a su alto valor de fracturas en las partículas se logra obtener mejor adherencia entre las mismas y la emulsión asfáltica, lo cual permite aumentar la resistencia ante esfuerzos cortantes.



3.1.2.2 Análisis de los ensayos en la mezcla asfáltica convencional.

La mezcla asfáltica convencional fue sujeta a ensayos los cuales permitieron no solamente evaluar su desempeño o comportamiento, sino, determinar información como el contenido óptimo de asfalto. A continuación, se muestra los resultados de dichos ensayos.

3.1.2.2.1 Resultados Ensayos Rice

Se presenta el resultado de la mezcla asfáltica que obtuvo uno de los valores más altos de gravedad específica máxima teórica (G_{mm}) y la cual corresponde a la incorporación del 5% de AC-20.

Tabla N° 25.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica convencional con adición del 5% de AC-20

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 		
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”		
Ensayo rice 5% cemento asfáltico (Gravedad específica máxima teórica)		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
	Descripción	Unidad
	5% de AC-20	
	Peso frasco + agua a 25°C	g
	Peso frasco	g
	Peso muestra + frasco	g
	Peso muestra	g
	Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g
	G_{mm} a 25°C	--

Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 26.- Resultados Rice de las mezclas asfálticas convencionales con diferentes porcentajes de AC-20

Mezcla asfáltica convencional	
Porcentaje de AC-20	Resultado rice
5.00%	2.489
5.50%	2.472
6.00%	2.455
6.50%	2.403
7.00%	2.351

Autor: Jorge Fernández

Los resultados detallados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 7.

Interpretación: Los resultados de este ensayo son consistentes, puesto que, a medida que el porcentaje de AC-20 está en aumento, el valor rice disminuye debido a que la microporosidad de los agregados minerales se llena de dicha emulsión.

3.1.2.2.2 Resultados del diseño de mezcla asfáltica convencional, Método Marshall

Tabla N° 27.- Diseño mezcla asfáltica convencional, Método Marshall

N° Golpes: 75 Gravedad específica asf: 1.0239 Gravedad específica agregados para diseño: 2.576

MÉTODO MARSHALL-DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL																			
MUESTRA N°	CEMENTO ASFÁLTICO(%)	ESPESOR BRIQUETA(cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD (Lbs)			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	S.S.S EN AIRE	EN AGUA	BULK(gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	MÉTODO RICE	$\frac{(I-H) \cdot 10^4}{I \cdot H \cdot \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \cdot G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) \cdot 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\%CA \cdot \frac{I \cdot \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} \cdot 100$			$Q \cdot R$	
1	5	6.7	1186.0	1192	660.6	2.232										5657.120	0.923	5221.522	10.79
1.1		6.65	1186.9	1191.8	658.5	2.226										4830.943	0.934	4512.101	10.98
1.2		6.8	1192.1	1197	654.8	2.199										4687.964	0.898	4209.791	10.84
PROMEDIO						2.219	2.395	2.489	1.669	81.823	10.860	7.317	18.177	3.415	40.253			4647.805	10.815
2	5.5	6.65	1191.6	1196.4	666.2	2.247										4446.293	0.934	4152.838	11.06
2.1		6.7	1190.6	1195.8	666.7	2.250										4810.935	0.923	4440.493	10.74
2.2		6.6	1192.8	1196.9	672.2	2.273										5690.616	0.943	5366.251	11.55
PROMEDIO						2.257	2.378	2.472	1.697	82.797	8.698	8.505	17.203	3.897	49.440			4653.194	11.118
3	6	6.6	1192.6	1195.8	673.3	2.282										4839.036	0.943	4563.211	11.14
3.1		6.55	1194.7	1197.3	674.2	2.284										5107.684	0.953	4867.623	10.99
3.2		6.5	1188.3	1190.6	673.2	2.297										5285.958	0.963	5090.378	11.39
PROMEDIO						2.288	2.361	2.455	1.721	83.479	6.815	9.706	16.521	4.383	58.747			4715.417	11.063
4	6.5	6.5	1191.3	1192.7	679	2.319										4971.449	0.963	4787.506	11.82
4.1		6.45	1192.8	1194.2	680.9	2.324										4776.089	0.975	4656.687	11.51
4.2		6.5	1193.3	1194.7	681.8	2.327										5413.875	0.963	5213.562	13.05
PROMEDIO						2.323	2.345	2.403	1.102	84.322	3.323	12.355	15.678	5.470	78.802			4885.918	12.127
5	7	6.35	1189.6	1189.6	680.1	2.335										3759.498	1.000	3759.498	14.70
5.1		6.35	1188.2	1188.3	680.2	2.339										4374.803	1.000	4374.803	13.72
5.2		6.4	1190.9	1191.4	679.2	2.325										4500.472	0.988	4446.466	12.86
PROMEDIO						2.333	2.329	2.351	0.434	84.220	0.774	15.006	15.780	6.596	95.096			4193.589	13.762

Autor: Jorge Fernández

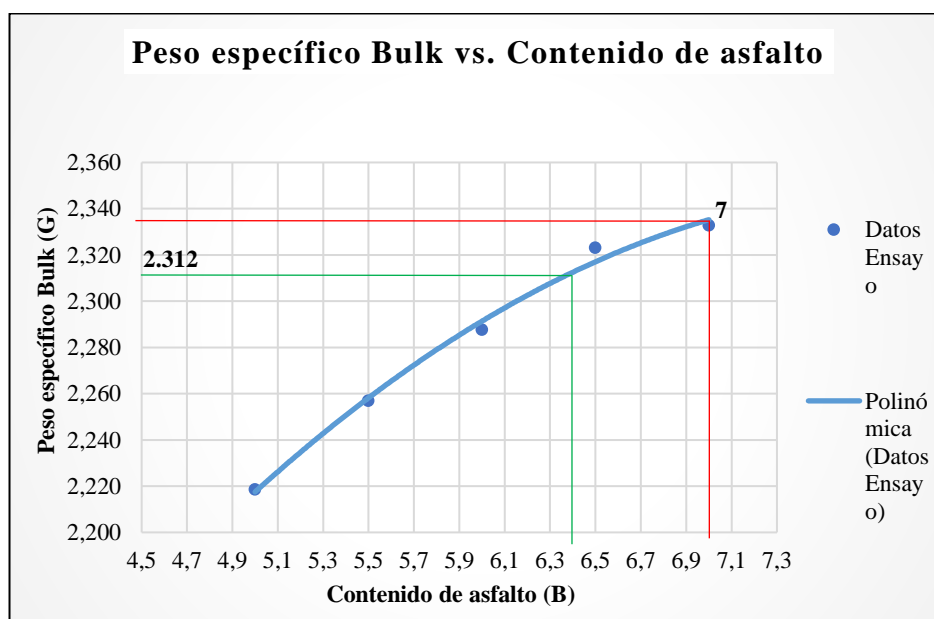
3.1.2.2.3 Resultado del “Contenido Óptimo de AC-20” en la mezcla asfáltica convencional

Para su determinación se analizó gráficamente lo siguiente:

- Porcentaje de AC-20 para la máxima densidad o peso específico
- Porcentaje de AC-20 correspondiente al 4% del índice de vacíos
- Porcentaje de AC-20 correspondiente a la máxima estabilidad

Es importante mencionar que el promedio de estos tres porcentajes permitió determinar el porcentaje óptimo asfalto a utilizarse en la mezcla asfáltica, por lo que, no se debe pasar por alto el analizar que las propiedades Marshall satisfagan las especificaciones mencionadas en la *Tabla N°2*.

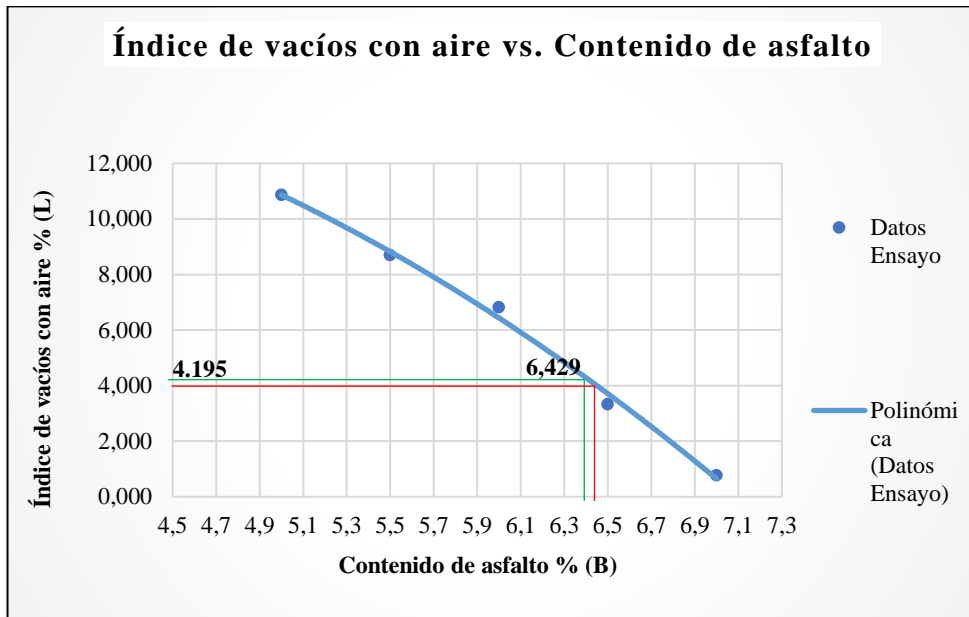
Ilustración N° 24.- Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se determinó que el porcentaje de cemento asfáltico para la máxima densidad es 7%, lo cual demuestra que a medida que el contenido de asfalto aumenta, también lo hace el peso específico Bulk y adicionalmente se lo puede observar cuando se compacta la briqueta, puesto que dicha acción, disminuye la cantidad de vacíos de aire.

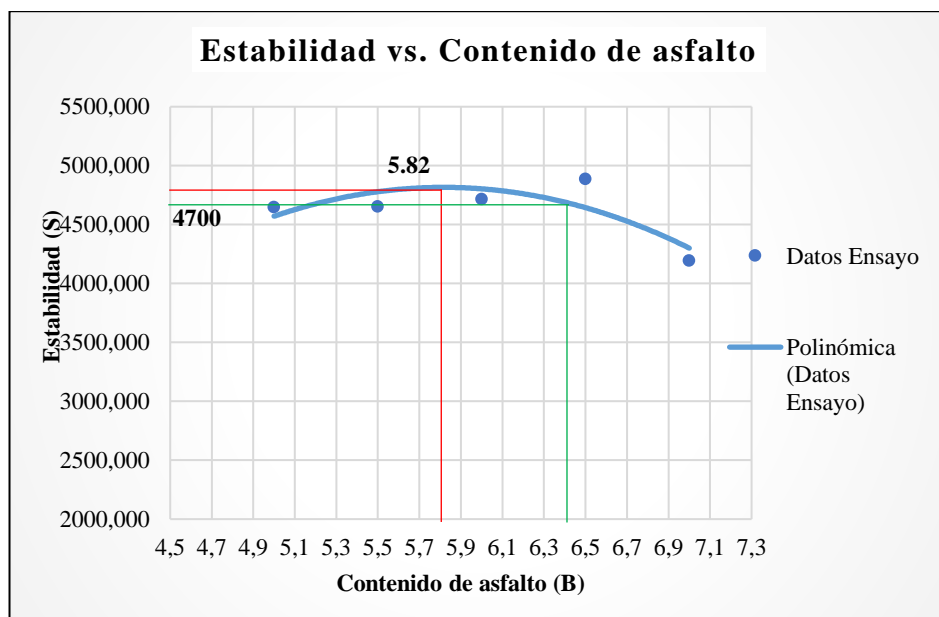
Ilustración N° 25.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se determinó que el porcentaje de cemento asfáltico para el 4% del índice de vacíos es 6.429 %, lo cual explica que la cantidad de vacíos presentes en la mezcla asfáltica son inversamente proporcionales a la cantidad de ligante asfáltico colocado.

Ilustración N° 26.- Estabilidad vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se determinó que el porcentaje de cemento asfáltico para la máxima estabilidad es 5.82 %, lo cual, demuestra que, la estabilidad crece hasta cierto punto máximo a medida que el contenido de asfalto aumenta, aunque después de este punto, disminuye con el aumento de contenido asfáltico en la mezcla.

Tabla N° 28.- Contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica convencional

Descripción	%
Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto	7.000
Índice de vacíos con aire (4%) vs. Contenido de asfalto	6.43
Estabilidad vs. Contenido de asfalto	5.82
Contenido Óptimo de asfalto	6.42

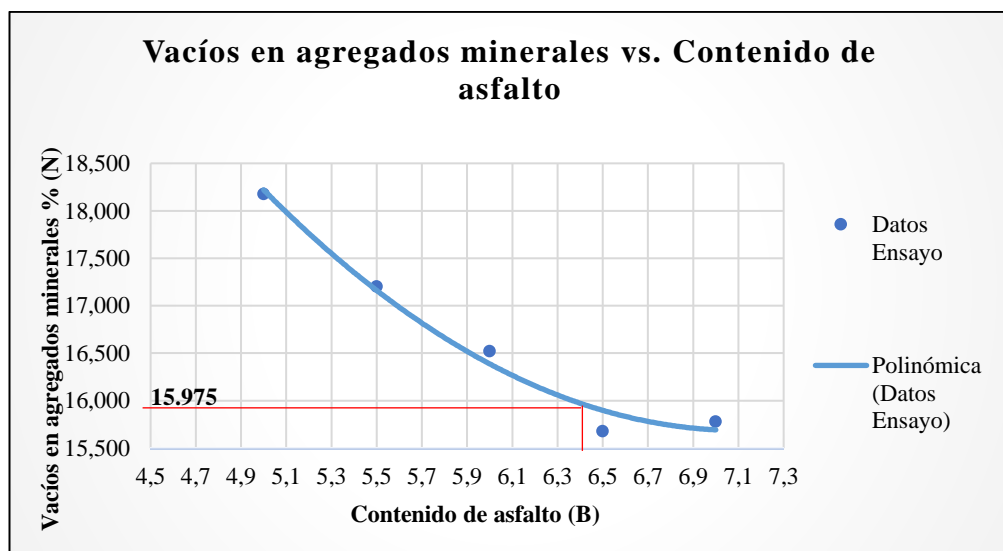
Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se obtuvo un 6.42% de contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica convencional, dicho porcentaje sirvió para determinar los valores que se presentan a continuación de las siguientes gráficas en donde ya se hizo uso del contenido óptimo de asfalto.

3.1.2.2.4 Resultados, Criterios Marshall

Se realizó el análisis de las propiedades de la mezcla asfáltica determinadas haciendo uso del porcentaje óptimo de asfalto.

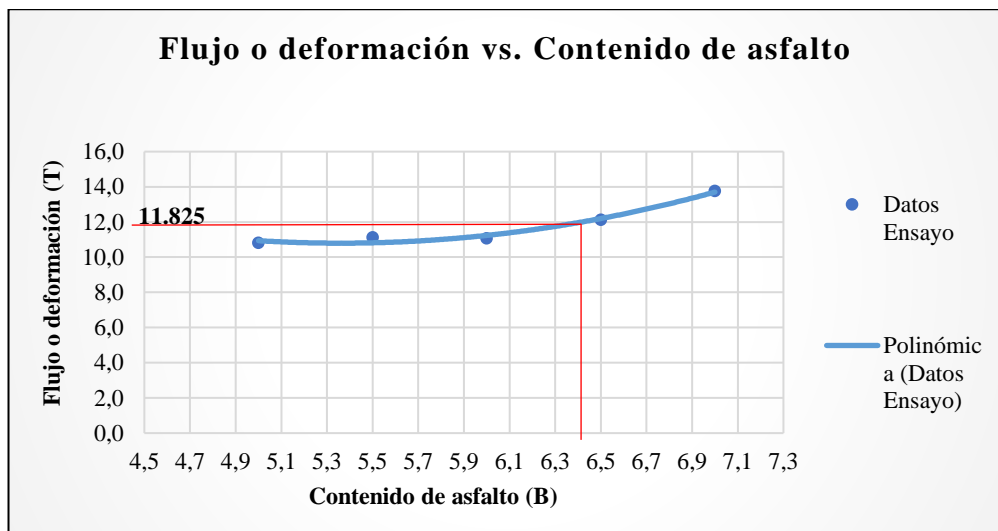
Ilustración N° 27.- Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Con el contenido óptimo de asfalto determinado se obtuvo un valor de 15.975 % en los vacíos de agregados minerales. Como se observa en la ilustración la disminución de los vacíos en agregados minerales se debe al aumento de la cantidad de ligante asfáltico en la mezcla, lo cual, da como resultado una mejor compactación.

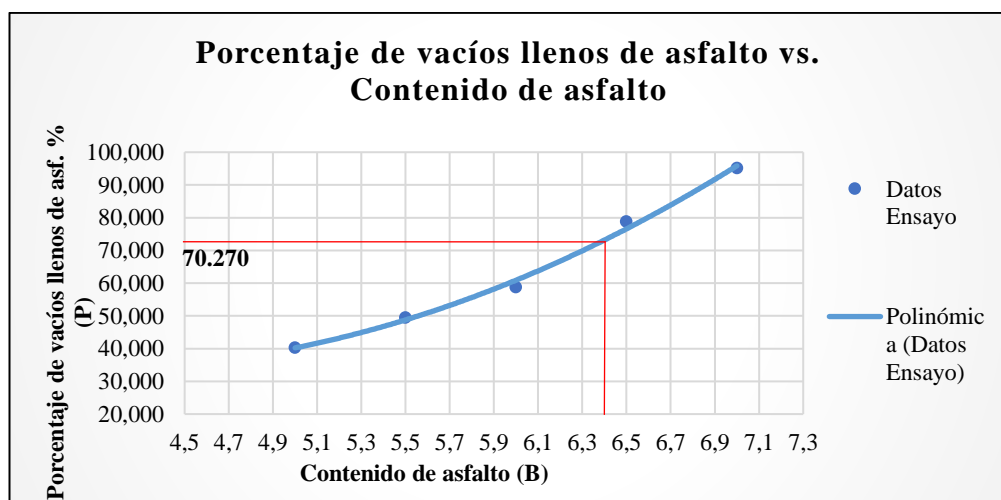
Ilustración N° 28.- Flujo o deformación vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Con el contenido óptimo de asfalto determinado se obtuvo un valor de 11.825 % de fluencia o deformación. Como se observa en la ilustración la deformación es directamente proporcional con contenido de asfalto en la mezcla, esto se debe a que, la flexibilidad y deformación aumenta a medida que el porcentaje de asfalto incrementa.

Ilustración N° 29.- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Con el contenido óptimo de asfalto determinado se obtuvo un valor de 70.270 % de vacíos llenos de asfalto, lo cual, se explica gráficamente, a medida que se agrega más contenido de asfalto, el porcentaje de vacíos llenos de asfalto aumenta.

Tabla N° 29.- Resultados para el análisis de criterios de diseño Marshall

Número de golpes en cada cara de la probeta	75
Densidad Bulk (g/cm^3)	2.312
Estabilidad en libras (lb)	4700
Flujo en centésimas de pulgada ($\frac{pulg}{100}$)	11.825
Porcentaje de vacíos (%)	4.195
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto (%)	70.270
Relación Filler / Betún (%)	1.090
Porcentaje de vacíos en agregados minerales (%)	15.975

Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Los resultados presentados en la *Tabla N° 45*, cumplen con las exigencias estipuladas en la *Tabla N° 02* del presente documento, dicha tabla menciona los criterios de diseño para mezclas Marshall presentados por el MOP-001-F 2002.

3.1.2.3 Análisis las tres primeras alternativas de diseño de mezcla asfáltica con sustituciones parciales de RAP y vidrio triturado.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados tanto a las partículas de vidrio triturado como también a las muestras de pavimento asfáltico reciclado, con objetivo de evaluar su comportamiento y propiedades tanto físicas como mecánicas para posteriormente proponer las respectivas alternativas de diseño en donde se realizaron reemplazos parciales de dichos materiales.

3.1.2.3.1 Análisis de los ensayos realizados al vidrio triturado

Es necesario resaltar que, se recicló cerca de 60 botellas de vidrio de cerveza para la ejecución del presente proyecto experimental.

Ilustración N° 30.- Vidrio triturado



Autor: Jorge Fernández

3.1.2.3.1.1 Resultado del ensayo “Desgaste por abrasión del vidrio triturado”

Tabla N° 30.- Resultado del ensayo "Resistencia al desgaste por abrasión del vidrio triturado"

Ensayo Resistencia al Desgaste por Abrasión	
Agregado	Desgaste del vidrio triturado (%)
Grueso e Intermedio	31.172

Fuente: Jorge Fernández

Los resultados detallados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 3.

Interpretación: El valor desgaste por abrasión del material ensayado fue de 31.172%, lo cual indica que, es de buena calidad y posee buena resistencia al desgaste por abrasión superficial. Por otra parte, como el resultado es menor al 40% mencionado por la MOP-001-F 2002 CAPÍTULO 811-2. Agregados para Mezcla en Planta pág. VIII-82, es viable utilizar el material para el diseño de la mezcla asfáltica, a pesar de que no sea una grava o agregado natural.

3.1.2.3.1.2 Resultados del ensayo “Granulometría del vidrio triturado”

Para realizar este ensayo, se utilizó el mismo análisis granulométrico realizado a los agregados pétreos, basándose en la norma INEN 696.

Tabla N° 31.- Resultados del Ensayo “Granulometría del vidrio triturado”

Coefficiente	Vidrio Triturado
D10	0.56
D30	1.66
D60	3.87
C_u	6.96
C_c	1.28

Fuente: Jorge Fernández

Los resultados detallados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 1.

Interpretación: De los resultados obtenidos, el valor de $C_c=1.28$ es cercano a 1, correspondiendo técnicamente a una distribución uniforme de tamaños de partículas de vidrio triturado, lo cual también se puede evidenciar en la curva granulométrica y en el coeficiente $C_u=6.96$, es mayor a 4, por lo que se considera un resultado bueno.

3.1.2.3.1.3 Resultado del ensayo “Contenido de humedad del vidrio triturado”

Tabla N° 32.-Resultado del ensayo “Contenido de humedad del vidrio triturado”

Ensayo “Contenido de Humedad”	
Muestra	%
V1	0.035
V2	0.032
Total	0.033

Autor: Jorge Fernández

Los resultados detallados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 5.

Interpretación: Se obtuvo un valor de 0.033% de contenido de humedad natural, por lo cual, se considera que no existe un impacto significativo en el rendimiento y propiedades del vidrio triturado. Por otra parte, el contenido de humedad no afecta la estabilidad y durabilidad del vidrio.

3.1.2.3.2 Análisis de los ensayos realizados al pavimento asfáltico reciclado (RAP)

El pavimento asfáltico reciclado también conocido como RAP fue evaluado mediante cuatro ensayos los cuales se presentan a continuación.

Ilustración N° 31.- Pavimento asfáltico reciclado



Autor: Jorge Fernández

3.1.2.3.2.1 Resultados del ensayo centrifugado del RAP

Los resultados detallados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 6, sin embargo, dicho resultado se presenta a continuación de forma resumida:

Tabla N° 33.- Resultado del Ensayo “Centrifugado del Pavimento Asfáltico Reciclado”

Contenido de Asfalto	
Peso del asfalto en la muestra (g)	Porcentaje de asfalto (%)
129.24	6.46

Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 34.- Porcentaje de emulsión asfáltica presente por cada gramo de pavimento asfáltico reciclado

Peso muestra (g)	Porcentaje de Emulsión Asfáltica (%)
2000	6.46
1	3.23×10^{-3}

Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se obtuvo un 6.46% de cemento asfáltico presente en una muestra de 2000g de pavimento asfáltico reciclado, por lo que, para el diseño de mezclas asfálticas que contengan pavimento asfáltico reciclado se optó por completar con AC-20 en el porcentaje que falte independientemente de cada mezcla.

3.1.2.3.2.2 Resultados del ensayo “Granulometría RAP”

Los resultados obtenidos en este ensayo son los siguientes han sido determinados con la muestra producto del ensayo de centrifugado, obteniendo los siguientes datos:

Tabla N° 35.- Resultados del Ensayo “Granulometría del vidrio triturado”

Coficiente	Vidrio Triturado
D10	0.12
D30	0.66
D60	3.27
C_u	26.35
C_c	1.06

Fuente: Jorge Fernández

Los resultados detallados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 1.

Interpretación: La distribución de tamaños de partículas se ajustó a una granulometría de 3/8” debido a que cumple con los porcentajes en peso que pasan a través de cada tamiz para cada límite propuesto por el MOP-001-F 2002.

Por otra parte, no se descarta la existencia de agregado de 3/4” debido a que el proceso de trituración es un poco brusco y dichos agregados se rompieron debido a que sus propiedades mecánicas ya no son las mismas en razón al tiempo, temperatura de mezcla en caliente, factores ambientales y cargas dinámicas generadas por los

vehículos. Sin embargo, al obtener un valor de $C_c > 1$ y $C_u > 4$, se considera una distribución uniforme de tamaños de partículas.

3.1.2.3.2.3 Resultado del ensayo “Contenido de humedad del RAP”

Tabla N° 36.- Resultado del ensayo “Contenido de humedad del pavimento asfáltico reciclado”

Ensayo “Contenido de Humedad”	
Muestra	%
1.1	0.664
1.2	0.777
Total	0.720
2.1	0.693
2.2	0.656
Total	0.675
3.1	0.662
3.2	0.641
Total	0.632

Autor: Jorge Fernández

Los resultados detallados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 5.

Interpretación: El contenido de humedad natural de 0.676 se determinó mediante un promedio del resultado de ensayo realizado a las muestras representativas de cada espécimen de pavimento asfáltico reciclado extraído en de la vía de estudio, dicho valor hace mención del porcentaje de agua presente en la muestra de RAP al momento de la medición, por otra parte, el resultado final indica un bajo contenido de agua presente en el pavimento asfáltico reciclado lo cual facilita su compactación, obteniendo una estructura resistente, densa y durable.

Finalmente, el bajo contenido de agua favorece a la uniformidad de la mezcla asfáltica, lo cual asegura una correcta distribución y composición homogénea del pavimento.

3.1.2.3.2.4 Resultado del ensayo “Desgaste por abrasión del RAP”

Tabla N° 37.- Resultado del ensayo “Resistencia al Desgaste por Abrasión del Pavimento Asfáltico Reciclado”

Ensayo Resistencia al Desgaste por Abrasión	
Agregado	Desgaste del vidrio triturado (%)
Grueso e Intermedio	35.6936

Fuente: Jorge Fernández

Los resultados detallados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 3.

Interpretación: El valor desgaste por abrasión del agregado ensayado fue de 35.6936%, lo cual indica que, posee de buena calidad en razón a su resistencia al desgaste superficial. Por otra parte, como el resultado es menor al 40% mencionado por la MOP-001-F 2002 CAPÍTULO 811-2. Agregados para Mezcla en Planta pág. VIII-82, es viable utilizar el material reciclado para el diseño de la mezcla asfáltica.

3.1.2.3.3 Tres primeras alternativas de diseño de mezclas asfálticas con sustitución parcial de vidrio y/o RAP

A continuación, se presentan las tres primeras alternativas de diseño de mezclas asfálticas realizadas:

- **Primera alternativa de mezcla asfáltica**

Para el diseño de la presente mezcla asfáltica se utilizó solamente pavimento asfáltico reciclado y se adicionó el contenido óptimo de asfalto determinado en la mezcla asfáltica convencional, los porcentajes utilizados son los presentados a continuación.

- 75.80 % de Pavimento asfáltico reciclado
- 6.42% de emulsión o ligante asfáltico
- 17.78% de agregados pétreos tomados de la planta asfáltica JEAL Construcciones

- **Segunda alternativa de mezcla asfáltica**

Para el diseño de la presente mezcla asfáltica se utilizó solamente vidrio triturado como material reciclado y se adicionó el contenido óptimo de asfalto determinado en la mezcla asfáltica convencional, los porcentajes utilizados son los presentados a continuación.

- 68.31 % de vidrio triturado
- 6.42 % de emulsión o ligante asfáltico
- 25.27% de agregados pétreos tomados de la planta asfáltica JEAL Construcciones

- **Tercera alternativa de mezcla asfáltica**

Para el diseño de la presente mezcla asfáltica se utilizó vidrio triturado y pavimento asfáltico reciclado, se trabajó con el contenido óptimo de asfalto determinado en la mezcla asfáltica convencional, los porcentajes utilizados son los presentados a continuación.



- 48.66% de pavimento asfáltico reciclado
- 34.16% de vidrio triturado
- 6.42 % de emulsión o ligante asfáltico
- 10.76% de agregados pétreos tomados de la planta asfáltica JEAL Construcciones

3.1.2.3.4 Análisis de los ensayos realizados a las tres primeras alternativas de mezclas asfálticas.

Es preciso mencionar que, los ensayos Rice y Marshall fueron realizados para todas las mezclas asfálticas con sustituciones parciales, con respecto al peso total de dichas mezclas, por lo que, a continuación, se demuestran los resultados obtenidos en los ensayos Rice para las diferentes mezclas asfálticas con sus respectivos porcentajes.

3.1.2.3.4.1 Resultado del Ensayo Rice, primera alternativa de mezcla asfáltica

Tabla N° 38.- Ensayo Rice de la mezcla asfáltica con remplazo parcial de RAP



 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 		
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”		
Ensayo Rice 6.42% AC-20 y 75.80% de RAP		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
Descripción	Unidad	Resultado
Peso frasco + agua a 25°C	g	18663.50
Peso frasco	g	5235.00
Peso muestra + frasco	g	6735.00
Peso muestra	g	1500.00
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g	19520.50
G_{mm} a 25°C	--	2.333

Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se obtuvo un valor gravedad específica máxima teórica de 2.333 para esta mezcla asfáltica.

3.1.2.3.4.2 Resultado del Ensayo Rice, segunda alternativa de mezcla asfáltica.

Tabla N° 39.- Ensayo Rice de la mezcla asfáltica con remplazo parcial de vidrio triturado



 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 		
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”		
Ensayo Rice 6.42% AC-20 y 68.31% de Vidrio Triturado		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
	Descripción	Unidad
	Peso frasco + agua a 25°C	g
	Peso frasco	g
	Peso muestra + frasco	g
	Peso muestra	g
	Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g
	Gmm a 25°C	--
		Resultado
		18663.50
		5235.00
		6735.00
		1500.00
		19507.50
		2.287

Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se obtuvo un valor gravedad específica máxima teórica de 2.287 para esta mezcla asfáltica.

3.1.2.3.4.3 Resultado del Ensayo Rice, tercera alternativa de mezcla asfáltica

Tabla N° 40.- Ensayo Rice de la mezcla asfáltica con remplazo parcial de pavimento asfáltico reciclado y vidrio triturado

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 		
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”		
Ensayo Rice 6.42% AC-20 y 48.66% de RAP y 34.16% Vidrio Triturado		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
	Descripción	Unidad
		Resultado

Peso frasco + agua a 25°C	g	18633.00
Peso frasco	g	5236.50
Peso muestra + frasco	g	6736.50
Peso muestra	g	1500.00
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g	19497.0
Gmm a 25°C	--	2.358

Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se obtuvo un valor gravedad específica teórica máxima de 2.358 para esta mezcla asfáltica.

3.1.2.3.4.4 Resultados de las tres primeras alternativas de diseño de mezclas asfálticas, Método Marshall

Tabla N° 41.- Diseño mezcla asfáltica con sustitución parcial de RAP, Vidrio triturado y 6.42% de AC-20, Método Marshall

N° Golpes:		75		Gravedad específica asf:		1.0239		Gravedad específica agregados para diseño:		2.576												
MÉTODO MARSHALL-DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE VIDRIO TRITURADO Y PAVIMENTO ASFALTICO RECICLADO (1ERA ALTERNATIVA)																						
CODIGO DE MUESTRA N°	RAP (%)	VIDRIO TRITURADO (%)	CEMENTO ASFÁLTICO(%)	ESPESOR BRIQUETA(cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD (Lbs)			FLUJO pulg/100	
					SECA EN AIRE	S.S EN AIRE	EN AGUA	BULK(gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA		
A			B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
								$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{W_{Agreg}}{G_{agr}} + \frac{W_{Ca}}{G_{asf}}}$	MÉTODO RICE	$\frac{(1-H) \cdot 10^4}{I \cdot H \cdot \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \cdot G}{G_{agr}}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) \cdot 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\frac{1 - \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} \cdot 100$			$Q \cdot R$		
RAP 1	78.18	0	6.42	6.2	1149.2	1149.8	651.1	2.304										6628.749	1.040	6893.899	14.34	
RAP 2				6.2	1153.5	1153.8	654.0	2.308											6000.405	1.040	6240.421	13.50
RAP 3				6.25	1155.9	1156.5	656.6	2.312												6856.481	0.898	6157.120
PROMEDIO								2.308	2.318	2.333	0.301	85.124	1.063	13.813	14.876	6.134	92.852			6430.480	14.278	
V 1	0	55.21	6.42	6.6	1188.1	1188.4	665.8	2.273										1749.022	0.934	1633.587	14.97	
V 2				6.6	1191.7	1191.8	667.1	2.271											1600.872	0.923	1477.605	16.08
V 3				6.6	1188.3	1188.5	663.3	2.263												1247.246	0.943	1176.153
PROMEDIO								2.269	2.238	2.287	-0.815	83.240	0.784	15.976	16.760	7.190	95.322			1429.115	15.474	
50% V.A 1	48.66	34.16	6.42	6.4	1166.9	1167.0	656.7	2.287										3225.574	0.988	3186.867	15.78	
50% V.A 2				6.4	1168.8	1169.0	658.2	2.288											3078.099	0.988	3041.162	15.12
50% V.A 3				6.30	1167.6	1167.8	660.7	2.303												3348.545	1.013	3392.077
PROMEDIO								2.292	2.239	2.358	0.374	83.653	2.780	13.567	16.347	6.068	82.996			3114.015	15.453	

Autor: Jorge Fernández

3.1.2.3.4.5 Resultados de las propiedades determinadas a las tres primeras alternativas de mezclas asfálticas, Criterios Marshall

Tabla N° 42.- Resultado de las mezclas asfálticas con 6.42% de contenido óptimo de AC-20 para comprobación con criterios Marshall

Criterios Marshall	78.18% RAP	55.21% Vidrio	48.66% RAP Y 34.16% Vidrio
Número de golpes en cada cara de la probeta	75	75	75
Densidad Bulk (g/cm^3)	2.308	2.269	2.292
Estabilidad en libras (<i>lb</i>)	6430.48	1429.120	3114.020
Flujo en centésimas de pulgada ($\frac{pulg}{100}$)	14.280	15.470	15.450
Porcentaje de vacíos con aire (%)	1.060	0.78	2.780
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto (%)	92.850	95.32	83.000
Relación Filler / Betún (%)	1.090	1.09	1.09
Porcentaje de vacíos en agregados minerales (%)	14.880	16.76	16.35

Autor: Jorge Fernández

Los resultados detallados de las gráficas para determinar las propiedades de las mezclas asfálticas mencionadas en la *Tabla N° 42* los puede encontrar en el Anexo 8.

Interpretación: Los resultados presentados en la *Tabla N°42*, no cumplen con todas las exigencias estipuladas en la *Tabla N° 02* del presente documento, dicha tabla menciona los criterios de diseño para mezclas Marshall presentados por el MOP-001-F 2002.

Por otra parte, las briquetas con sustitución parcial del 75.80% de Pavimento asfáltico reciclado y 6.42% de AC-20, no cumplieron con todos los criterios Marshall, debido a que el porcentaje de vacíos rellenos de aire es bajo y el porcentaje de vacíos rellenos de asfalto es alto conforme a los límites mínimos y máximos presentes en la *Tabla N° 02*.

Las briquetas que poseen el 68.31% de vidrio triturado y 6.42% de AC-20, no cumplieron con el criterio de estabilidad mínima 1800 lb, el porcentaje de vacíos con aire fue menor al mínimo permitido y el porcentaje de vacíos rellenos de asfalto fue demasiado alto con respecto al valor máximo estipulado por los criterios Marshall, lo cual se debe a que el vidrio no posee permeabilidad y por lo tanto el cemento asfáltico se esparce más por toda la mezcla llenando los vacíos entre partículas.

Finalmente, las briquetas con sustitución parcial del 34.16% de vidrio triturado, 48.66% de RAP y 6.42% de AC-20, no cumplieron con el porcentaje de vacíos rellenos de aire y el porcentaje de vacíos rellenos de asfalto, lo anterior se debe a que se obtuvo un valor de 0.22% menor al mínimo y para el otro caso un resultado de 8% mayor máximo.

Es importante mencionar que los porcentajes faltantes para completar el 100% en cada una de las mezclas mencionadas anteriormente, corresponde al porcentaje de agregados pétreos obtenidos de la planta de asfalto JEAL Construcciones.

3.1.2.4 Análisis de la cuarta alternativa de mezcla asfáltica

Para el diseño de la siguiente alternativa de mezcla asfáltica con incorporación de vidrio triturado y pavimento asfáltico reciclado, se optó por determinar un nuevo contenido óptimo de asfalto, RAP y vidrio triturado de tal forma que se logre cumplir con los criterios Marshall establecidos en la *Tabla N° 02*.

Se sustituyó parcialmente porcentajes de pavimento asfáltico reciclado en la fracción retenida por el tamiz N°4 y vidrio triturado en la fracción retenida en el tamiz N°50.



3.1.2.4.1 Análisis de los ensayos realizados a la mezcla asfáltica

A continuación, se presentan los ensayos realizados a la última alternativa de mezcla asfáltica realizada en el presente trabajo experimental.

3.1.2.4.1.1 Resultados del Ensayo Rice, cuarta alternativa de mezcla asfáltica

A continuación, se presenta el resultado de la mezcla asfáltica que obtuvo uno de los valores más altos de G_{mm} y el cual corresponde a la incorporación del 4% de AC-20, sustitución parcial del 1.40% de RAP y 0.75% de vidrio triturado.

Tabla N° 43.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 4% de AC-20 y sustitución parcial del 1.40% de RAP y 0.75% de vidrio triturado.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil	
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”		
Ensayo Rice 4% de AC-20 y 1.40% de RAP y 0.75% de vidrio triturado		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	

Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
Descripción	Unidad	Resultado
Peso frasco + agua a 25°C	g	18633.00
Peso frasco	g	5236.50
Peso muestra + frasco	g	6736.50
Peso muestra	g	1500.00
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g	19565.50
<i>Gmm</i> a 25°C	--	2.643

Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 44.- Resultados Rice de las mezclas asfálticas con sustitución parcial de RAP en el tamiz N°4 y de vidrio triturado en el tamiz N°50

Ensayo Rice de la cuarta alternativa de Mezclas asfálticas	
Porcentaje de AC-20 / Rap / Vidrio triturado	Resultado rice
4.00% / 1.40 / 0.75	2.643
4.50% / 2.10 / 1.50	2.611
5.00% / 2.80 / 2.25	2.521
5.50% / 3.50 / 3.00	2.495
6.00% / 4.20 / 3.75	2.469
6.50% / 4.90 / 4.50	2.444
7.00% / 5.60 / 5.25	2.324

Autor: Jorge Fernández

Los resultados detallados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 7.

Interpretación: A medida que el porcentaje de AC-20 está en aumento, el valor gravedad específica máxima disminuye, sin embargo, es importante mencionar que el vidrio al no poseer microporosidades como los agregados naturales, no absorbe emulsión asfáltica, pero si se pinta superficialmente con la misma.

3.1.2.4.1.2 Resultados de la cuarta alternativa de diseño de mezclas asfálticas, Método Marshall

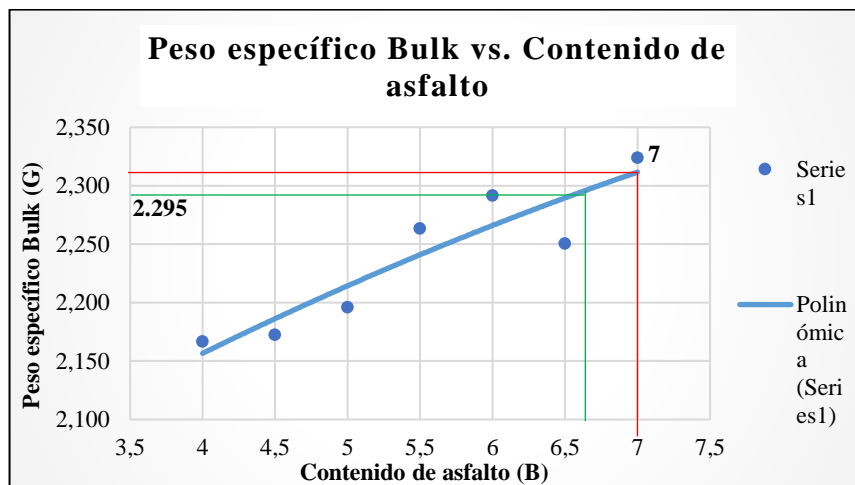
Tabla N° 45.- Resultados del diseño de la cuarta alternativa de diseño de mezcla asfáltica con sustitución parcial de RAP y Vidrio Triturado, Método Marshall

N° Golpes:		75		Gravedad específica asf:		1.0239		Gravedad específica agregados para diseño:		2.576		MÉTODO MARSHALL-DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE VIDRIO TRITURADO Y PAVIMENTO ASFALTICO RECICLADO (2DA ALTERNATIVA)										
MUESTRA N°	RAP (%)	VIDRIO TRITURADO (%)	CEMENTO ASFÁLTICO (%)	ESPESOR BRIQUETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD (Lbs)			FLUJO pulg/100	
					SECA EN AIRE	S.S.S EN AIRE	EN AGUA	BULK(gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA		
A			B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
								$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	MÉTODO RICE	$\frac{(I-H) \cdot 10^4}{I \cdot H \cdot \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \cdot G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) \cdot 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\frac{J \cdot \%Agreg}{\%CA \cdot 100}$	$\frac{N-L}{N} \cdot 100$			$Q \cdot R$		
1.1	1.40	0.75	4.00	6.95	1187.6	1191.9	638.4	2.146										4634.009	0.868	4022.320	9.85	
1.2				6.9	1190.6	1194.6	647.7	2.177											4579.380	0.877	4016.117	10.04
1.3				6.98	1175.5	1180.9	641.1	2.178												3663.280	0.862	3157.747
PROMEDIO								2.167		2.452	2.643	3.105	79.908	18.019	2.073	20.092	1.050	10.319			3732.061	10.480
2.1	2.10	1.50	4.50	6.9	1188.4	1191	641.4	2.162										4014.658	0.877	3520.855	11.49	
2.2				6.9	1186.3	1191.4	646	2.175											4223.956	0.877	3704.409	10.54
2.3				6.9	1197.2	1200.9	651.9	2.181												4506.317	0.877	3952.040
PROMEDIO								2.173		2.434	2.611	2.942	79.705	16.787	3.508	20.295	1.720	17.286			3725.768	10.871
3.1	2.80	2.25	5.00	6.8	1190.0	1196	657.9	2.211										4476.417	0.898	4019.823	10.88	
3.2				6.8	1193	1202.1	654.8	2.180											4406.277	0.898	3956.836	10.77
3.3				6.8	1187.6	1193.4	652.8	2.197												3959.130	0.898	3555.298
PROMEDIO								2.196		2.417	2.521	1.816	80.135	12.890	6.975	19.865	3.293	35.111			3988.330	10.825
4.1	3.50	3.00	5.50	6.7	1196.1	1202.6	670.4	2.247										4999.550	0.923	4614.585	11.06	
4.2				6.6	1193.5	1197.6	671.1	2.267											4126.613	0.943	3891.396	11.70
4.3				6.58	1188.9	1191.4	669.1	2.276												4461.580	0.947	4225.116
PROMEDIO								2.264		2.400	2.495	1.698	82.159	9.277	8.564	17.841	3.912	48.002			4243.699	11.474
5.1	4.20	3.75	6.00	6.55	1197.3	1198.8	676.2	2.291										4344.679	0.953	4140.479	12.10	
5.2				6.5	1195.4	1196.4	676.3	2.298											4353.446	0.963	4192.369	11.54
5.3				6.55	1191.3	1194.1	672.9	2.286												3802.887	0.953	3624.151
PROMEDIO								2.292		2.383	2.469	1.570	82.736	7.181	10.083	17.264	4.540	58.406			3985.666	11.591
6.1	4.90	4.50	6.50	6.50	1190.70	1192.10	671.20	2.286										4917.495	0.963	4735.547	11.07	
6.2				6.67	1179.50	1183.70	651.40	2.216											4006.564	0.930	3726.105	10.49
6.3				6.59	1185.10	1187.90	661.30	2.250												4462.030	0.945	4216.618
PROMEDIO								2.251		2.356	2.444	1.650	81.257	7.908	10.835	18.743	4.966	57.808			4226.090	10.778
7.1	5.60	5.25	7.00	6.45	1190.90	1191.10	679.70	2.329										4268.693	0.975	4161.976	13.72	
7.2				6.45	1181.20	1181.29	671.60	2.317											3901.803	0.975	3804.258	11.93
7.3				6.45	1187.05	1187.25	676.85	2.326												4085.248	0.975	3983.117
PROMEDIO								2.324		2.329	2.401	1.387	83.901	3.208	12.891	16.099	5.710	80.072			3983.117	12.821

Autor: Jorge Fernández

3.1.2.4.1.3 Resultado del Contenido Óptimo de AC-20, RAP y vidrio triturado de la cuarta alternativa de mezcla asfáltica.

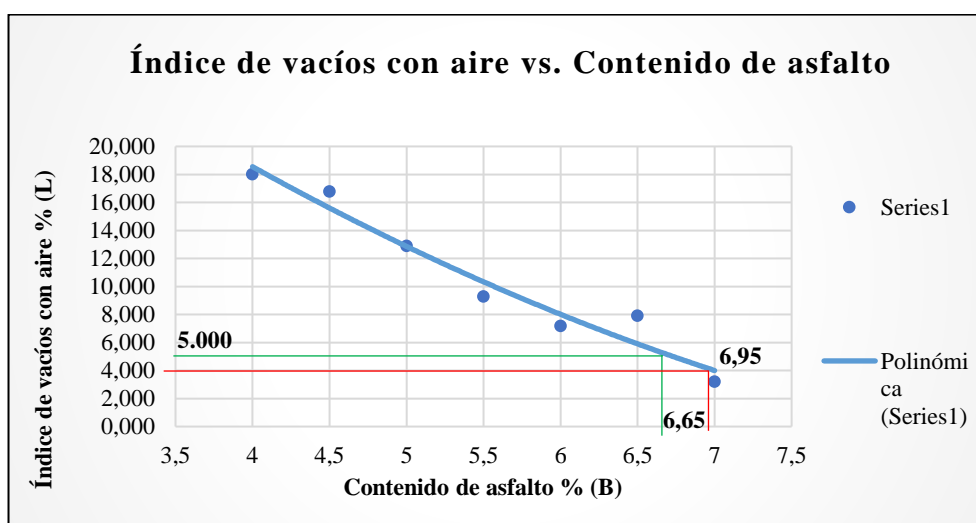
Ilustración N° 32.- Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se determinó que el porcentaje de cemento asfáltico para la máxima densidad es 7%, lo cual demuestra que a medida que el contenido de asfalto aumenta, también lo hace el peso específico Bulk y adicionalmente se lo puede observar cuando se compacta la briqueta, puesto que dicha acción disminuye la cantidad de vacíos de aire.

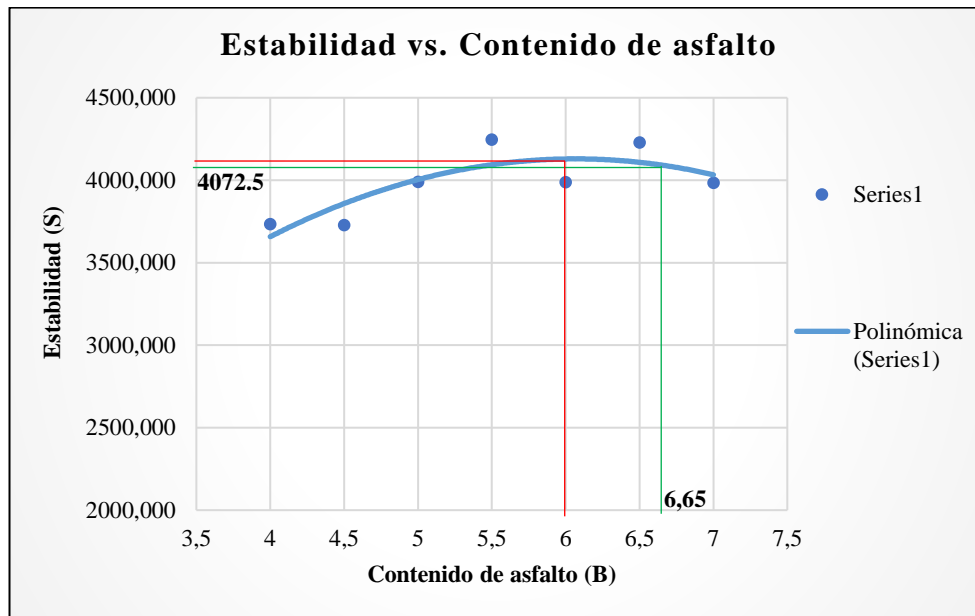
Ilustración N° 33.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se determinó que el porcentaje de cemento asfáltico para el 4% del índice de vacíos es 6.95 %, lo cual explica que la cantidad de vacíos presentes en la mezcla asfáltica son inversamente proporcionales a la cantidad de ligante asfáltico colocado.

Ilustración N° 34.- Estabilidad vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se determinó que el porcentaje de cemento asfáltico para la máxima estabilidad es 6.00 %, lo cual, demuestra que, la estabilidad crece hasta cierto punto máximo a medida que el contenido de asfalto aumenta, la estabilidad disminuye con el aumento de contenido asfáltico en la mezcla.

Tabla N° 46.- Contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica con sustitución parcial de vidrio triturado y RAP en el tamiz N°4 y N°50 respectivamente.

Descripción	%
Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto	7.000
Índice de vacíos con aire (4%) vs. Contenido de asfalto	6.95
Estabilidad vs. Contenido de asfalto	6.00
Contenido Óptimo de asfalto	6.65
Contenido Óptimo de RAP	4.82
Contenido Óptimo de Vidrio	4.42

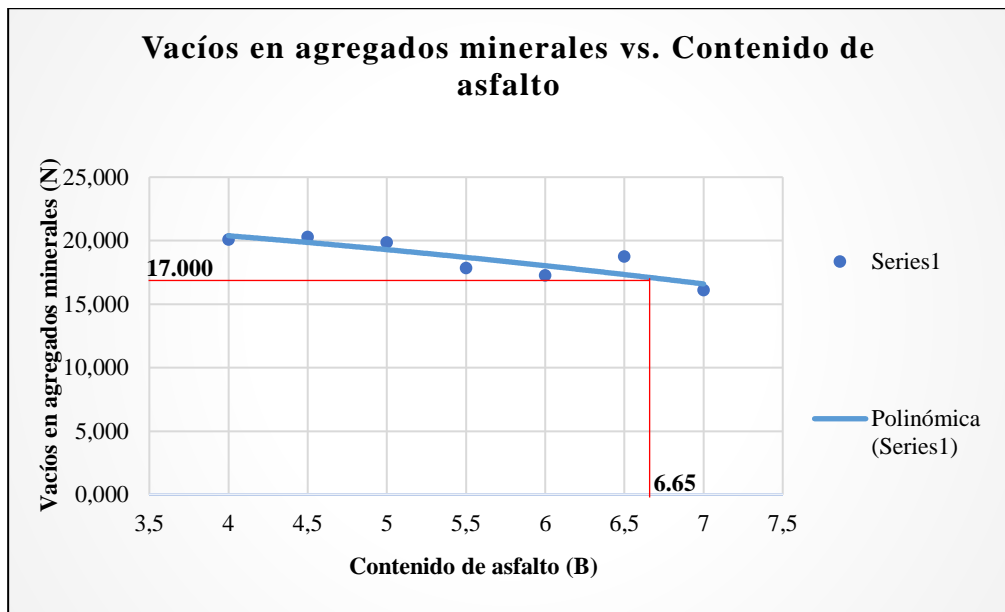
Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se logró obtener un contenido óptimo de asfalto del 6.65% para la totalidad de la mezcla asfáltica. Asimismo, utilizando el Método Marshall, se determinó el contenido óptimo de 5.13% el pavimento asfáltico reciclado (RAP) y 4.75% para el Vidrio Triturado.

Los porcentajes mencionados representan la sustitución parcial con respecto al peso del material retenido en el tamiz N°4 para el RAP y en el tamiz N°50 para el vidrio triturado, dicho de otro modo, los dos últimos porcentajes sirvieron para determinar la fórmula maestra de la presente mezcla asfáltica.

3.1.2.4.1.4 Resultados de las propiedades determinadas en la cuarta alternativa de mezclas asfálticas, Criterios Marshall

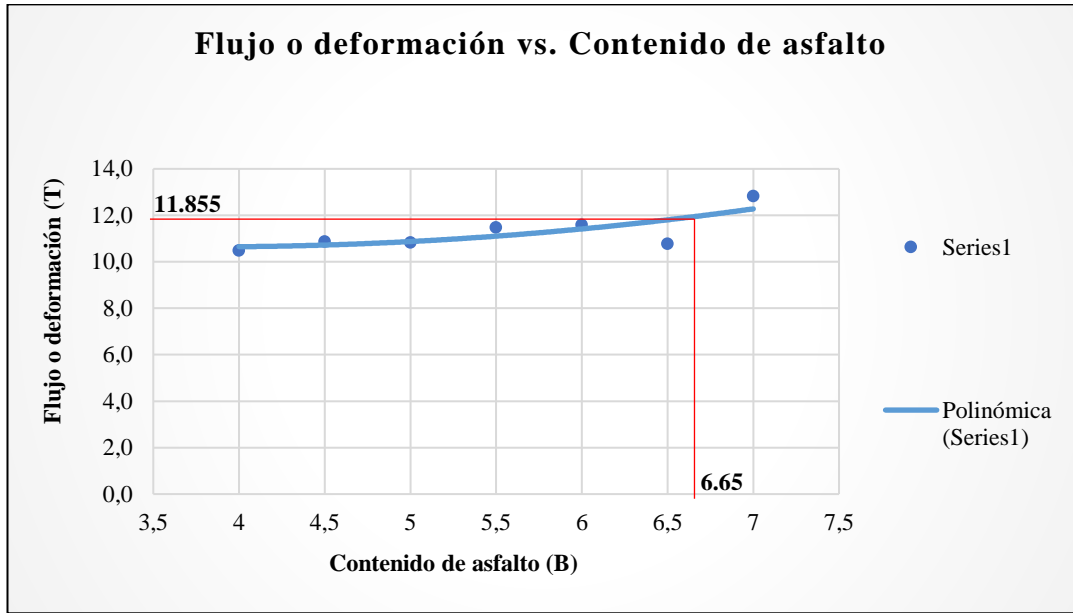
Ilustración N° 35.- Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Con el contenido óptimo de asfalto determinado se obtuvo un valor de 17.000 % en los vacíos de agregados minerales.

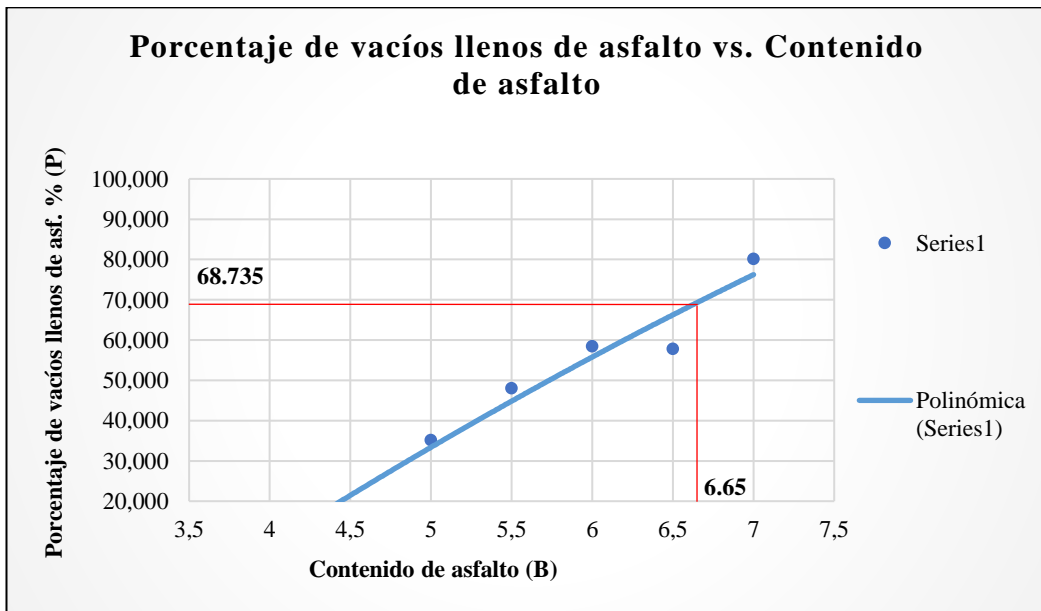
Ilustración N° 36.- Flujo o deformación vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Con el contenido óptimo de asfalto determinado se obtuvo un valor de 11.855 % de fluencia o deformación.

Ilustración N° 37.- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Con el contenido óptimo de asfalto determinado se obtuvo un valor de 68.735 % de vacíos llenos de asfalto.

Tabla N° 47.- Resultados para el análisis de criterios de diseño Marshall

Número de golpes en cada cara de la probeta	75
Densidad Bulk (g/cm^3)	2.295
Estabilidad en libras (<i>lb</i>)	4072.500
Flujo en centésimas de pulgada ($\frac{pulg}{100}$)	11.855
Porcentaje de vacíos (%)	5.000
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto (%)	68.735
Relación Filler / Betún (%)	1.050
Porcentaje de vacíos en agregados minerales (%)	17.000

Autor: Jorge Fernández

Los resultados detallados de este ensayo se los puede encontrar en el Anexo 8.

Interpretación: Los resultados presentados en la Tabla N° 51, cumplen con todos los criterios Marshall presentados por el MOP-001-F 2002.

Es importante destacar que, el procedimiento realizado para determinar el contenido óptimo de AC-20 de la presente muestra, fue realizado de la misma forma para determinar el contenido óptimo de vidrio triturado y pavimento asfáltico reciclado.

3.1.3 Fase 3

En la presente fase, se determinó las fórmulas maestras de las alternativas de mezclas asfálticas en donde se incorporó al RAP y Vidrio triturado.

3.1.3.1 Fórmulas maestras obtenidas de las diferentes mezclas asfálticas

A continuación, se muestran las fórmulas maestras utilizadas en las diferentes mezclas asfálticas realizadas en el presente trabajo experimental.

3.1.3.1.1 Fórmula maestra mezcla asfáltica convencional

Tabla N° 48.- Fórmula maestra de la mezcla asfáltica convencional

Fórmula maestra de la mezcla asfáltica convencional	
Materiales	Porcentaje (%)
Agregado Grueso	38.37
Agregado Fino	48.66
Filler	6.55
Cemento Asfáltico	6.42

Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se muestra las proporciones utilizadas de agregados pétreos y ligante asfáltico obtenidos de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones y empleados para el

diseño de la mezcla asfáltica convencional, vale la pena señalar que, esta mezcla asfáltica cumplió con todos los requisitos Marshall presentados en la *Tabla N° 02* y se obtuvo un porcentaje óptimo de AC-20 de 6.42%.

3.1.3.1.2 Fórmula maestra de la primera alternativa de mezcla asfáltica sostenible

Tabla N° 49.- Fórmula maestra de la mezcla asfáltica con reemplazo parcial de 75.80% de RAP en la mezcla asfáltica

Materiales		Porcentaje (%)
Fracción Gruesa	Agregados pétreos	3.74
	RAP	34.62
Fracción Fina	RAP	41.18
	Agregado Pétreos	7.49
Filler/Polvo de piedra		6.55
Cemento Asfáltico		6.42
Total		100

Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Para el diseño de la presente mezcla asfáltica, se utilizó el 6.42 % de AC-20 determinado como óptimo de la mezcla asfáltica convencional, pero, la única diferencia es que, en vez de colocar la totalidad de agregados pétreos, se sustituyó parcialmente 34.62% de RAP en la fracción gruesa de la mezcla y 41.18% en la fracción fina. Sin embargo, es importante mencionar que, esta mezcla asfáltica no cumplió con todos los criterios Marshall presentados en la *Tabla N° 02*

3.1.3.1.3 Fórmula maestra de la segunda alternativa de mezcla asfáltica sostenible

Tabla N° 50.- Fórmula maestra de la mezcla asfáltica con reemplazo parcial del 68.31% de Vidrio triturado en la mezcla asfáltica

Materiales		Porcentaje (%)
Fracción Gruesa	Agregados pétreos	25.27
	Vidrio Triturado	13.10
Fracción Fina	Vidrio Triturado	48.66
Filler de Vidrio Triturado		6.55
Cemento Asfáltico		6.42

Total	100
-------	-----

Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Para el diseño de la presente mezcla asfáltica, se utilizó el 6.42 % de AC-20 determinado como óptimo de la mezcla asfáltica convencional, sin embargo, en vez de colocar la totalidad de agregados pétreos, se sustituyó parcialmente 13.10% de Vidrio Triturado en la fracción gruesa, 48.66% en la fracción fina y 6.55% en la fracción de agregado mineral.

Es importante mencionar que, esta mezcla asfáltica no cumplió con todos los criterios Marshall presentados en la *Tabla N° 02*.

3.1.3.1.4 Fórmula maestra de la tercera alternativa de mezcla asfáltica sostenible

Tabla N° 51.- Fórmula maestra de la mezcla asfáltica con sustitución parcial de 48.66% de RAP, 34.16% Vidrio Triturado y 6.42% contenido óptimo de asfalto

Materiales		Porcentaje (%)
Fracción Gruesa	Agregados pétreos	3.74
	RAP	28.07
	Vidrio Triturado	6.55
Fracción Fina	Agregados pétreos	3.74
	RAP	20.59
	Vidrio Triturado	24.33
Filler	Polvo de piedra	3.28
	Vidrio Triturado	3.28
Cemento Asfáltico		6.42
Total		100

Autor: Jorge Fernández

Interpretación: En la presente mezcla asfáltica, se utilizó el 6.42 % de AC-20 determinado como óptimo de la mezcla asfáltica convencional, por otra parte, en vez de colocar la totalidad de agregados pétreos, se sustituyó parcialmente 28.07% de RAP y 6.55% de Vidrio triturado en la fracción gruesa de la mezcla, 20.59% de RAP y 24.33 % de Vidrio Triturado en la fracción fina y 3.28% de Vidrio Triturado y polvo de piedra en la fracción de agregado mineral.

Es importante mencionar que, esta mezcla asfáltica no cumplió con el porcentaje de vacíos llenos de aire y llenos de asfalto presentados en la *Tabla N° 02*.

3.1.3.1.5 Fórmula maestra de la cuarta alternativa de mezcla asfáltica sostenible

Tabla N° 52.- Fórmula maestra de la mezcla asfáltica con porcentajes de adición de RAP en el tamiz N°4 y Vidrio triturado en el Tamiz N°50

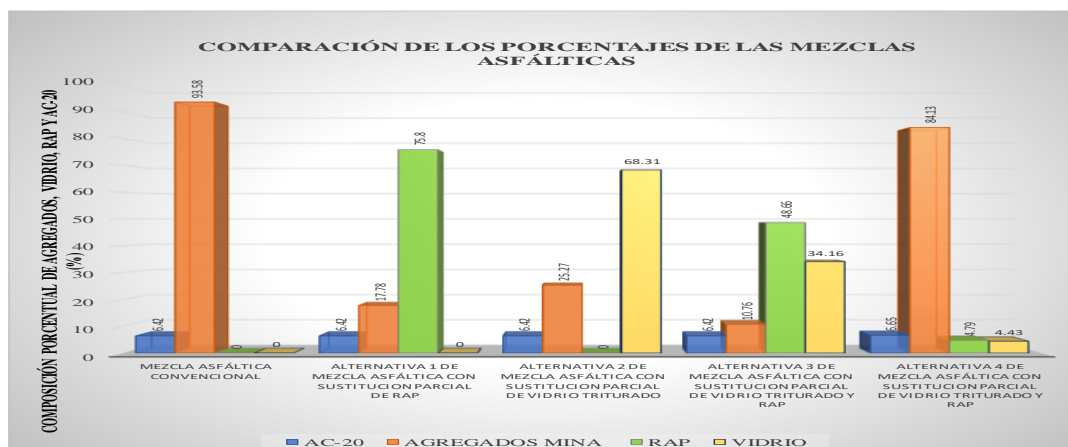
Materiales		Porcentaje (%)
Fracción Gruesa	Agregados pétreos	33.48
	RAP	4.79
Fracción Fina	Agregados pétreos	44.11
	Vidrio Triturado	4.43
Filler	Polvo de piedra	6.54
Cemento Asfáltico		6.65
Total		100

Autor: Jorge Fernández

Interpretación: En la Tabla N° 61 se presenta la fórmula maestra utilizada para la mezcla asfáltica con reemplazo parcial de RAP y Vidrio Triturado en los tamices N°4 y N°50 respectivamente, mencionando que, los valores de 4.79% de RAP y 4.43% de Vidrio Triturado se determinaron en función al peso equivalente al contenido en su respectiva fracción y con el porcentaje de contenido óptimo del material calculado mediante el Método Marshall.

3.1.3.2 Comparación entre los porcentajes de incorporación de todas las mezclas asfálticas

Ilustración N° 38.- Comparación de los porcentajes de las mezclas asfálticas



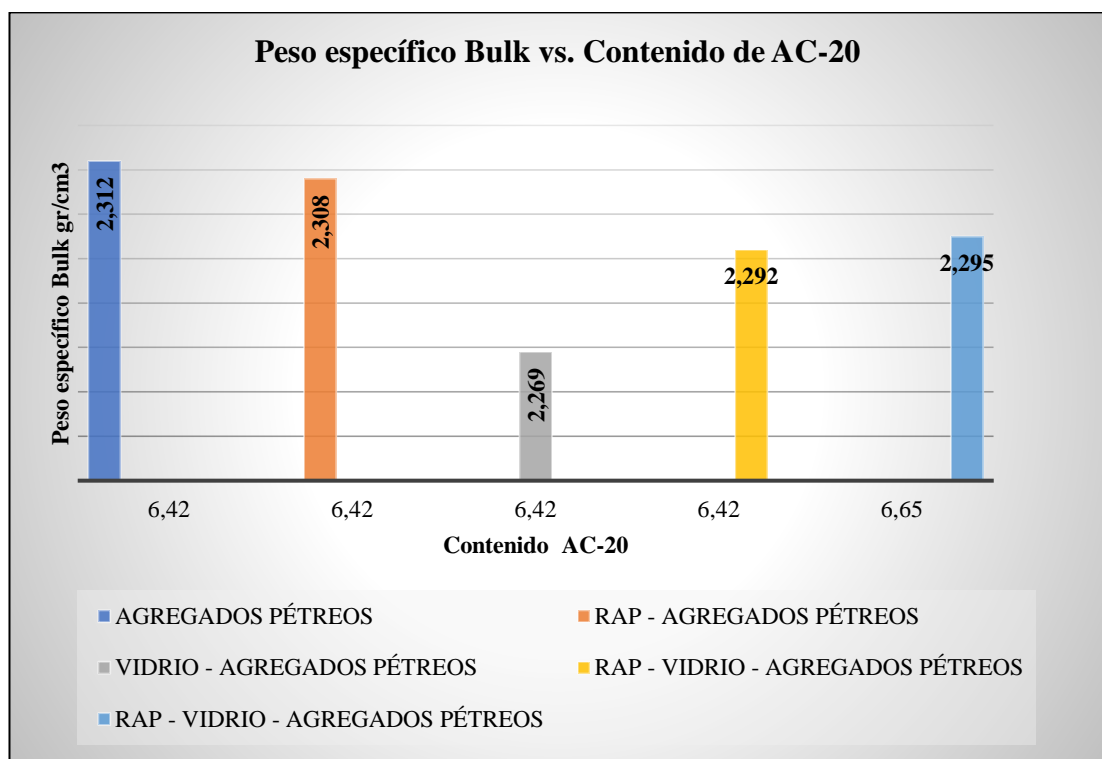
Autor: Jorge Fernández

Interpretación: En la presente ilustración se observa la composición porcentual granulométrica presente en cada fracción de las mezclas asfálticas realizadas a lo largo del presente trabajo experimental.

Adicionalmente, se destaca que la cuarta alternativa de mezcla asfáltica posee mayor contenido de cemento asfáltico, sobrepasando a la mezcla convencional con 0.23%.

3.1.3.3 Comparación entre los resultados técnicos de cada mezcla asfáltica realizada.

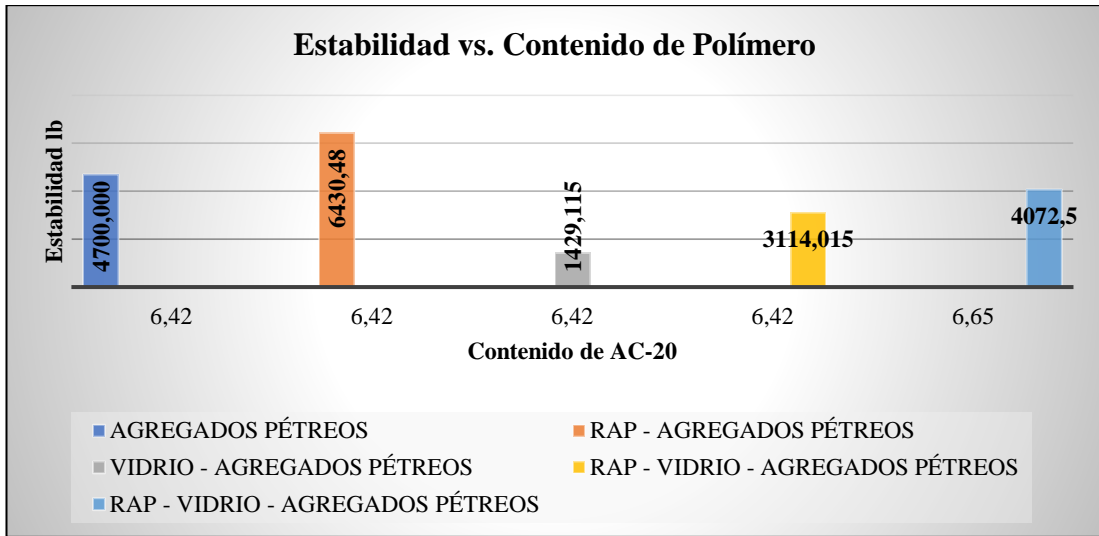
Ilustración N° 39.- Comparación entre Pesos Específicos Bulk vs Contenido de AC-20 de todas las mezclas asfálticas



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: En relación con el porcentaje óptimo de asfalto, la mezcla asfáltica convencional, fue la que mayor peso específico Bulk tuvo, lo cual puede indicar que dicha mezcla asfáltica posee una mejor resistencia estructural y mayor densidad.

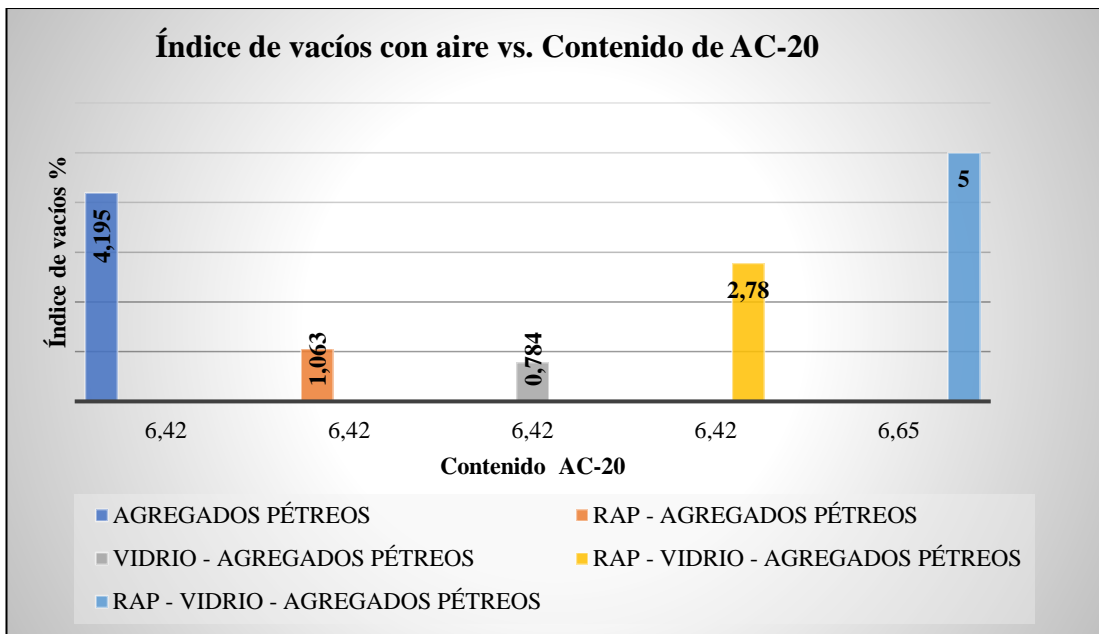
Ilustración N° 40.- Comparación entre Estabilidades vs Contenido de AC-20 de todas las mezclas asfálticas



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: La mezcla asfáltica con menor valor de estabilidad fue aquella diseñada con 6.42% de AC-20, vidrio triturado y agregados pétreos, dicho resultado es menor al requerido para el diseño de 3/4", dicho resultado se debe a la baja resistencia que posee el vidrio ante cargas dinámicas ya que es un material sumamente delicado físicamente.

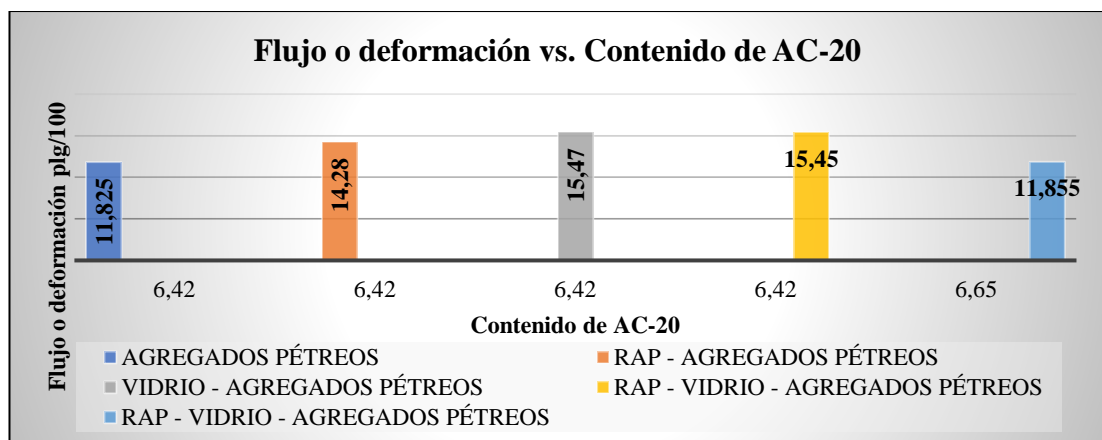
Ilustración N° 41.- Comparación entre Índice de vacíos con aire vs Contenido de AC-20 de todas las mezclas asfálticas



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: De los resultados presentados en la presente ilustración se destacan las mezclas asfálticas que poseen 6.42% de AC-20 con sustitución parcial de solamente vidrio triturado, asfalto reciclado y la combinación asfalto reciclado con vidrio triturado, razón por la que se mencionan estas mezclas asfálticas es porque no cumplen con el mínimo requerido por el MOP-001-F 2002, sus índices de vacíos calculados son menores a 3%, lo cual se evidenció una pérdida de resiliencia considerable al ejercer las cargas con el equipo Marshall.

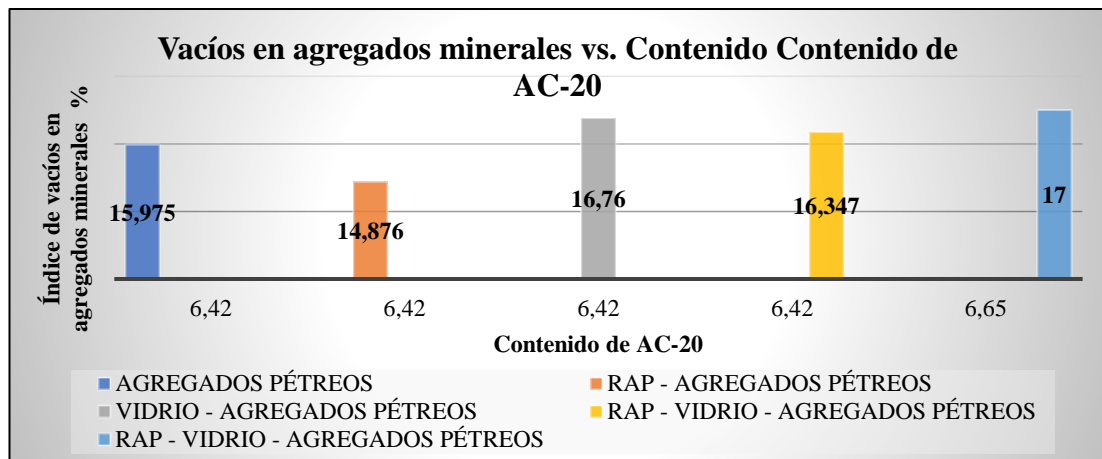
Ilustración N° 42.- Comparación entre Flujo o deformación vs Contenido de AC-20 de todas las mezclas asfálticas



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se determinó que todas las mezclas asfálticas poseen un flujo el cual está dentro de los límites mencionados en la *Tabla N°2*, por lo que, se sobre entiende que las mezclas asfálticas poseen un buen comportamiento ante la deformación.

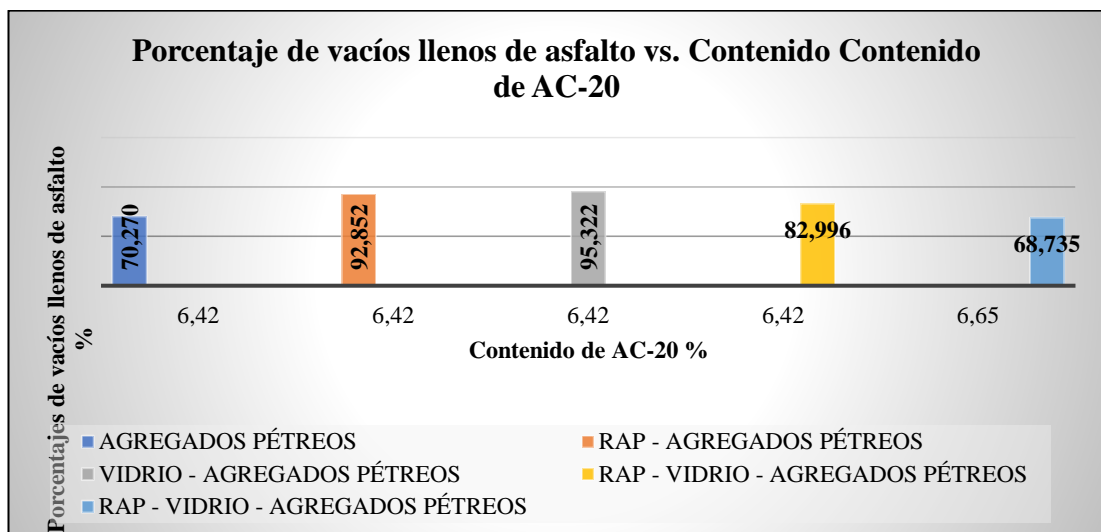
Ilustración N° 43.- Comparación entre Vacíos en Agregados Minerales vs Contenido de AC-20 de todas las mezclas asfálticas



Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se determinó que la mezcla asfáltica con sustitución parcial de vidrio triturado, pavimento asfáltico reciclado y contenido óptimo de 6.65% de AC-20, fue la mezcla asfáltica con mayor porcentaje de vacíos en agregados minerales, lo cual, hace referencia a la buena capacidad que tiene la mezcla asfáltica para resistir tensiones y cargas externas.

Ilustración N° 44.- Comparación entre Vacíos en Agregados Minerales vs Contenido de AC-20 de todas las mezclas asfálticas



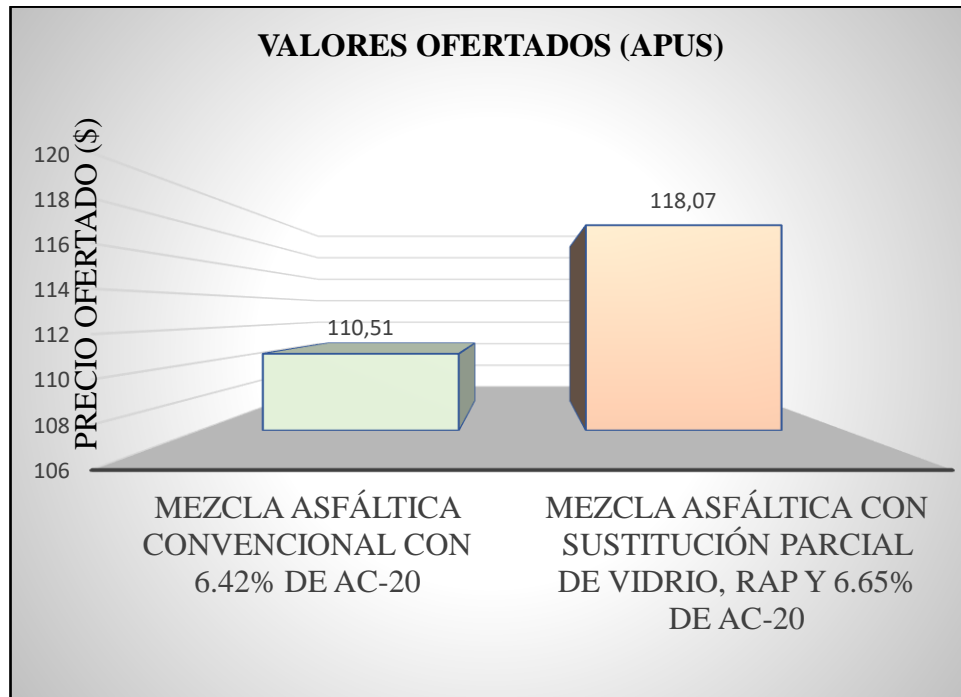
Autor: Jorge Fernández

Interpretación: Se observó que la mezcla asfáltica que posee en su estructura porcentajes de vidrio triturado y agregados pétreos con un 6.42% tuvo el mayor porcentaje de vacíos llenos de asfalto, esto se debe a que el porcentaje añadido de vidrio triturado es alto y dicho material no posee una superficie permeable, por lo tanto es lógico que las microporosidades y espacios entre partículas se hayan llenado totalmente de asfalto, lo cual provoca una alta disminución de la estabilidad y aumento de flujo.

Finalmente, solo la mezcla asfáltica convencional y con sustitución parcial de vidrio triturado, asfalto reciclado y 6.65% de AC-20, se encuentran dentro de los límites establecidos y conocidos como Criterios Marshal, *Tabla N° 2*.

3.1.3.4 Comparación de los resultados económicos entre Mezclas asfálticas que cumplieron los parámetros Marshall

Ilustración N° 45.- Comparación de los resultados económicos entre mezclas asfálticas.



Interpretación: Los presentes resultados corresponden a las dos mezclas asfálticas que cumplieron con todos los parámetros Marshall, cabe destacar que, la mezcla asfáltica convencional obtuvo un valor ofertado de \$110.51 lo cual es \$7.56 menor al valor ofertado con la mezcla asfáltica con sustitución parcial de vidrio triturado, pavimento asfáltico reciclado y 6.65% de AC-20.

3.2 Verificación de hipótesis

La adición de asfalto reciclado y vidrio triturado, en reemplazo parcial del agregado fino a las mezclas asfálticas convencionales mejora el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo km 0+000 - km 3+306 de la vía Cevallos-Mocha en la Provincia de Tungurahua.

La adición de asfalto reciclado y vidrio triturado, en reemplazo parcial del agregado fino a las mezclas asfálticas convencionales, sí mejoró significativa el comportamiento mecánico del pavimento, porque se evidenció la preservación y fortalecimiento de las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas realizadas, cumpliendo con los estándares establecido en el MOP - 001-F 2002 sección 810.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- A través de una rigurosa investigación, se logró identificar y analizar datos el TPDAf de 7201 veh/día, TPDA actual de 3602 veh/día, número de ejes equivalentes de 327064 y el tipo de vía Colectora Clase II obtenidos de estudios referentes a la vía Cevallos-Mocha, dicha información junto con los diferentes estudios recopilados y analizados sobre la incorporación de materiales reciclados como vidrio y pavimento asfáltico reciclado, contribuyó al progreso del presente proyecto experimental.
- Se formularon 5 alternativas de diseño de mezclas asfálticas mediante el método Marshall, en donde 4 de ellas contienen porcentajes parciales de vidrio y/o asfalto reciclado, cumpliendo así con los objetivos planteados en el proyecto de investigación.
- La mezcla asfáltica con sustitución parcial de vidrio triturado no cumplió con todos los parámetros Marshall expuestos en el trabajo experimental, debido a que el porcentaje de vacíos llenos de aire y vacíos llenos de asfalto resultó ser bajo con respecto a los límites establecidos, esto debido a que el vidrio no absorbe emulsión asfáltica, es impermeable, por lo que la mezcla llenó totalmente de AC-20 los vacíos entre partículas.
- La fórmula maestra con sustitución parcial de vidrio triturado y RAP que cumple con todos los criterios Marshall se encuentra conformada por un 33.48% de agregados pétreos, 4.79% de RAP en la fracción gruesa, 44.12% de agregados pétreos y 4.43% de vidrio triturado en la fracción fina, 6.53 % de polvo de piedra o Filler y por último un 6.65% de AC-20, dicha fórmula respeta todos los criterios de diseño de mezclas asfálticas en caliente que estipula la normativa, debido al balance proporcional que contenía la mezcla asfáltica.
- Según el análisis presentado, el vidrio triturado fue utilizado en un rango de 3% al 21% sustituyéndolo parcialmente en la fracción de agregados finos, en donde se demostró que la incorporación de este material reciclado a una mezcla asfáltica convencional puede mejorar propiedades como la estabilidad y valor de flujo o deformación, mientras tanto, la adición de RAP se la hizo en un rango

de 10% al 40% en la fracción intermedia de la mezcla obteniendo también resultados favorable dentro de la misma.

- Al ejecutar el análisis de precios unitarios se determinó que el realizar diseño de briquetas con sustitución parcial de materiales reciclados como el pavimento asfáltico y vidrio triturado, termina siendo relativamente más costoso debido al incremento de \$7.56 con respecto al precio de la mezcla convencional, por otro lado, el hecho de reutilizar los materiales mencionados mejora la percepción social del proyecto al demostrar un compromiso sostenible ambiental reduciendo la necesidad de extraer cada vez más recursos naturales y menorando la presión sobre el medio ambiente.
- Finalmente, se determinó un diseño de la estructura de pavimento flexible que consta de espesores de 5 cm para carpeta asfáltica, 10 cm para base y 15 cm para subbase, la misma que puede ser utilizada como complemento en la implementación de la fórmula maestra de la mezcla asfáltica convencional o la mezcla asfáltica con adición de Rap y vidrio triturado.

4.2 Recomendaciones

- Es recomendable trabajar con mezclas asfálticas dentro de la temperatura estipulada por la norma, 140°C a 150°C, de esta forma se logrará obtener resultados efectivos para un correcto diseño.
- Al utilizar materiales reciclados como el pavimento asfáltico, es recomendable que las muestras sean extraídas mediante un proceso no abrasivo, ya que están sujetos a posibles fracturas debido a la pérdida de sus propiedades mecánicas de los mismos.
- Realizar el ensayo de desgaste por abrasión a los materiales o agregados pétreos a utilizarse dentro del diseño de la mezcla asfáltica, garantiza buenos resultados y ahorro significativo de tiempo ya que, al analizar dichos resultados, es fácil determinar si es viable utilizar dicho material.
- Se recomienda utilizar el pavimento asfáltico reciclado en porcentajes más altos a los mencionados en la cuarta alternativa de diseño de mezcla asfáltica del presente documento, de tal forma que dicho material se pueda sustituir en la misma fracción, con el objetivo de disminuir el porcentaje óptimo de cemento asfáltico y así disminuir costos en el diseño.
- Se recomienda realizar mantenimientos periódicos a los equipos del laboratorio de suelos de la facultad de Ingeniería Civil para prevenir posibles errores durante la ejecución de los diferentes ensayos.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. A. Rondón Quintana y F. A. Reyes Lizcano, “Pavimentos: materiales, construcción y diseño”, Consultado: el 24 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecoediciones.com/libros/pavimentos-2da-edicion-ebook/>
- [2] “NOTAS - Instituto Mexicano del Transporte”. Consultado: el 21 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=504&IdBoletin=184>
- [3] “T 245, Standard Method of Test for Resistance to Plastic Flow of Asphalt Mixtures Using Marshall Apparatus, Single User PDF Download | AASHTO Store”. Consultado: el 24 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://store.transportation.org/item/publicationdetail/4838>
- [4] E. Iván, G. Vargas, y M. S. Abril, “MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS Y SU USO EN CAPAS GRANULARES PARA PAVIMENTOS”, *Revista Colombiana de Materiales*, núm. 5, pp. 382–388, may 2014, doi: 10.17533/UDEA.RCM.19627.
- [5] A. P. Parra, Y. Y. Ortega-Mora, y V. Acevedo-Pérez, “Resultados de la aplicación de reciclado de pavimento asfáltico en los CIV de la localidad de Bosa y Suba. Estudio de caso”, *Revista Ontare*, vol. 6, feb. 2020, doi: 10.21158/23823399.V6.N0.2018.2422.
- [6] J. G. B. Martínez, J. M. S. Losada, y H. A. R. Quintana, “Evaluación de una mezcla asfáltica con incorporación de agregados reciclados de concretos tratados superficialmente con una solución química de sulfato de magnesio”, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 32, núm. 1, pp. 9–23, jun. 2022, doi: 10.18359/RCIN.4733.
- [7] J. R. Bobadilla Peña *et al.*, “Uso de polímeros en asfalto: una revisión”, *Gaceta Técnica*, vol. 23, núm. 1, pp. 94–109, ene. 2022, doi: 10.51372/GACETATECNICA231.7.

- [8] C. López *et al.*, “Estudio de mezclas asfálticas templadas con emulsión superestabilizada”, *Revista ingeniería de construcción*, vol. 32, núm. 1, pp. 57–64, abr. 2017, doi: 10.4067/S0718-50732017000100006.
- [9] “Análisis comparativo de parámetros de diseño de mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado (GRC) mediante la metodología de incorporación por vía húmeda vs vía seca”. Consultado: el 25 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/44381>
- [10] “Diseño de mezclas asfálticas integrando residuos sólidos de la industria automovilística (elastómero) y de vías (pavimento asfáltico envejecido) en Manabí, Ecuador”. Consultado: el 25 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/816/81661270002/html/>
- [11] M. DE Obras Públicas, “ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES DE CAMINOS Y PUENTES”, 2002.
- [12] “Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente Modificadas con Elastómero (caucho) y Tereftalato de Polietileno reciclados con Ligante Asfáltico AC-20 - PDF Descargar libre”. Consultado: el 25 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/65176387-Diseno-de-mezclas-asfalticas-en-caliente-modificadas-con-elastomero-caucho-y-tereftalato-de-polietileno-reciclados-con-ligante-asfaltico-ac-20.html>
- [13] S. Kalampokis, D. Kalama, F. Kesikidou, M. Stefanidou, y E. Manthos, “Assessment of Waste Glass Incorporation in Asphalt Concrete for Surface Layer Construction”, *Materials* 2023, Vol. 16, Page 4938, vol. 16, núm. 14, p. 4938, jul. 2023, doi: 10.3390/MA16144938.
- [14] G. Prabhakaran, S. Musa Patvegar, J. Prakash Arul Jose, D. Gouse Peera, B. Joshi, y B. Ganeshkumar, “Study of the impact in bituminous mix using crushed waste glass”, *Mater Today Proc*, ago. 2023, doi: 10.1016/J.MATPR.2023.07.053.

- [15] D. A. Álvarez Tapia, “Implementación del proceso de conservación de la estructura de la capa de rodadura de la vía Cevallos - Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 4 + 960 de la provincia de Tungurahua.”, 2019, Consultado: el 12 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/29632>
- [16] “ASTM C 131-01.doc - PDFCOFFEE.COM”. Consultado: el 12 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://pdfcoffee.com/astm-c-131-01doc-pdf-free.html>
- [17] I. Ecuatoriano de Normalización, “INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN”.
- [18] “ASTM C-127 - PDFCOFFEE.COM”. Consultado: el 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://pdfcoffee.com/astm-c-127-4-pdf-free.html>
- [19] " Jose y S. Cañas, “UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA”.
- [20] “D5821 Método de prueba estándar para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en agregado grueso”. Consultado: el 12 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.astm.org/d5821-13r17.html>
- [21] “D2172 Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures”. Consultado: el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.astm.org/d2172-05.html>
- [22] “(PDF) DISEÑO DE PAVIMENTO METODO AASHTO 93 ESPANOL (1) | Edgar Caporal - Academia.edu”. Consultado: el 1 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/34103801/DISEÑO_DE_PAVIMENTO_METODO_AASHTO_93_ESPANOL_1_

VI. ANEXOS

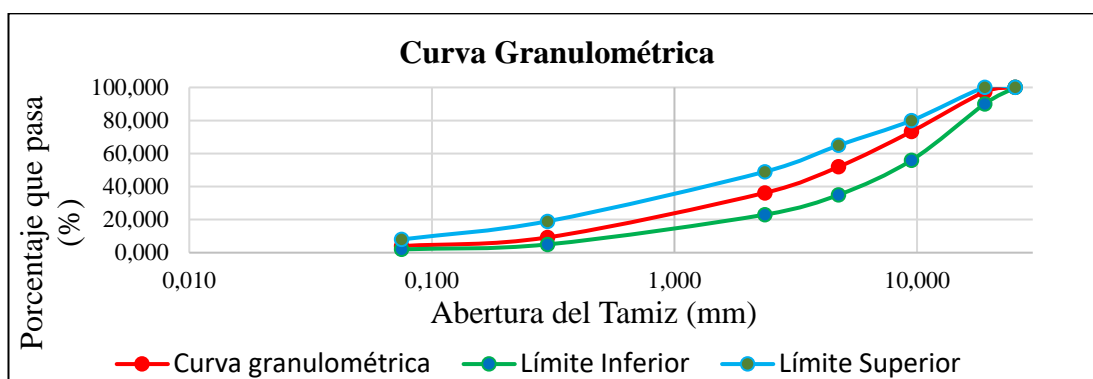
6.1. Anexo 1, resultado de los ensayos de granulometría

Tabla N° 53.- Granulometría de la fracción de agregado grueso 3/4" de la planta de asfalto JEAL Construcciones

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil				
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”						
Granulometría del agregado grueso 3/4”						
Origen:			Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua			
Ensayado por:			Jorge Estuardo Fernández López			
Fecha:			Noviembre-2023			
Norma:			INEN 696			
Masa del agregado:			5000 g			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en (g)		% Retenido acumulado	% que pasa	Límites MOP-001-F 2002
		Parcial	Acumulado			
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	100
3/4"	19.00	135.00	135.00	2.70	97.30	90 - 100
3/8"	9.50	1197.50	1332.50	26.65	73.35	56 - 80
N°4	4.75	1067.50	2400.00	48.00	52.00	35 - 65
N°8	2.36	789.50	3189.50	63.79	36.21	23 - 49
N°50	0.30	1348.00	4537.50	90.75	9.25	5 - 19
N°200	0.075	263.50	4801.00	96.02	3.98	2 - 8
Fuente		199.00	5000.00	100.00	0.00	--
Σ=		5000.00				
D10		0.32	Cu		16.45	
D30		1.88	Cc		2.09	
D60		5.27				

Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 46.- Curva granulométrica de la fracción de agregado grueso 3/4"



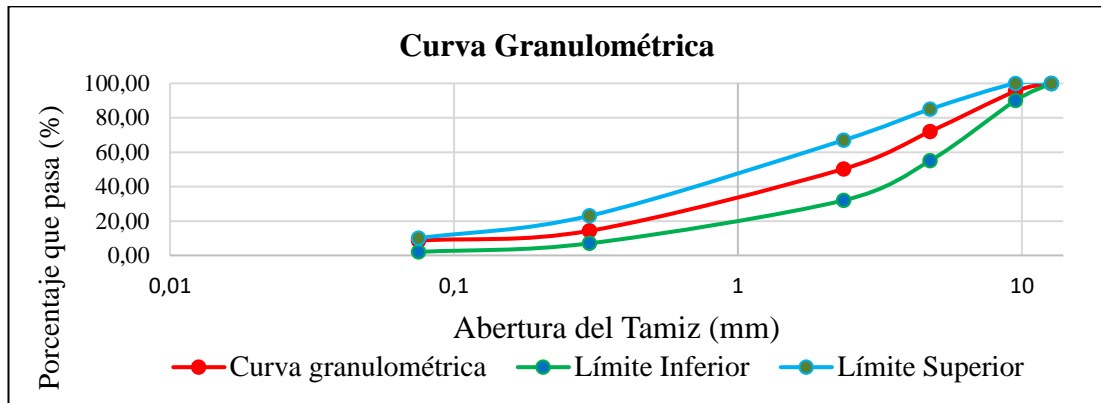
Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 54.- Granulometría de la fracción de agregado intermedio 3/8" de la planta de asfalto JEAL Construcciones

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil						
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”						
Granulometría del agregado intermedio 3/8”						
Origen:		Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua				
Ensayado por:		Jorge Estuardo Fernández López				
Fecha:		Noviembre-2023				
Norma:		INEN 696				
Masa del agregado:		1000 g				
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en (g)		% Retenido acumulado	% que pasa	Límites MOP-001-F 2002
		Parcial	Acumulado			
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	--
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	--
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	100
3/8"	9.50	48.50	48.50	4.58	95.42	90 - 100
N°4	4.75	248.50	297.00	28.02	71.98	55 - 85
N°8	2.36	229.80	526.80	49.69	50.31	32 - 67
N°50	0.30	381.90	908.70	85.72	14.28	7 - 23
N°200	0.075	60.10	968.80	91.39	8.61	2 - 10
Fuente		91.30	1060.10	100.00	0.00	--
Σ=		1060.1				
D10		0.11		Cu		30.64
D30		0.74		Cc		1.60
D60		3.23				

Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 47.- Curva granulométrica de la fracción de agregado 3/8"



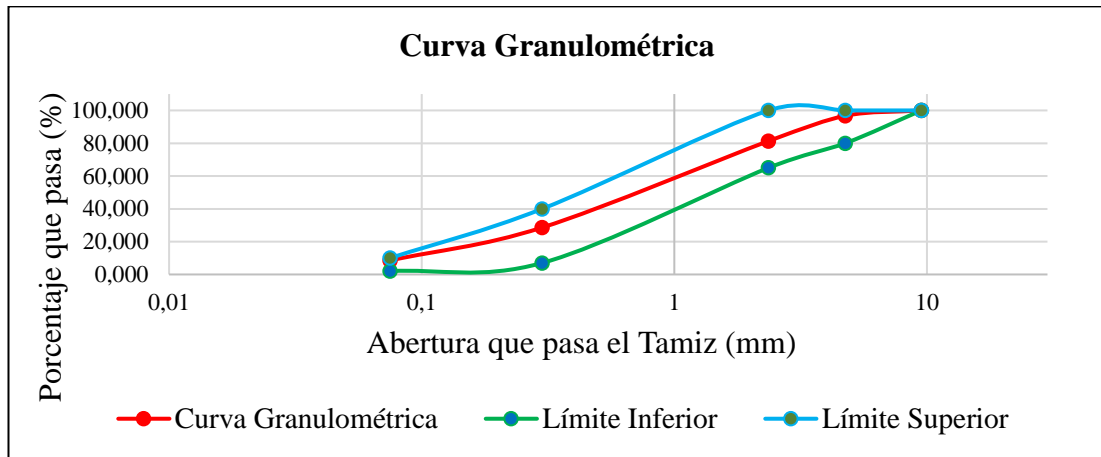
Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 55.- Granulometría de la fracción de agregado fino de la planta de asfalto JEAL Construcciones

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil						
<p>“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”</p>						
Granulometría del agregado fino						
Origen:		Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua				
Ensayado por:		Jorge Estuardo Fernández López				
Fecha:		Noviembre-2023				
Norma:		INEN 696				
Masa del agregado:		1000 g				
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en (g)		% Retenido acumulado	% que pasa	Límites MOP-001-F 2002
		Parcial	Acumulado			
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	--
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	--
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	--
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100
N°4	4.75	32.53	32.53	3.25	96.75	80 - 100
N°8	2.36	154.04	186.57	18.66	81.34	65 - 100
N°50	0.30	527.21	713.78	71.38	28.62	7 - 40
N°200	0.075	200.85	914.62	91.46	8.54	2 - 10
Fuente		85.38	1000.00	100.00	0.00	--
Σ=		1000				
D10		0.08	Módulo de finura		2.85%	
D30		0.32	Cu		12.34	
D60		1.02	Cc		1.18	

Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 48.- Curva granulométrica de la fracción de agregado fino





Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 56.- Asignación de símbolos de grupo de suelos en los agregados pétreos obtenidos en la planta de asfaltos JEAL Construcciones

Coeficientes	Materiales pétreos		
	Agregado grueso 3/4"	Agregado intermedio 3/8"	Agregado fino
Cu	16.45	30.64	12.34
Cc	2.09	1.60	1.18
Criterio	GW	GW	SW

Autor: Jorge Fernández

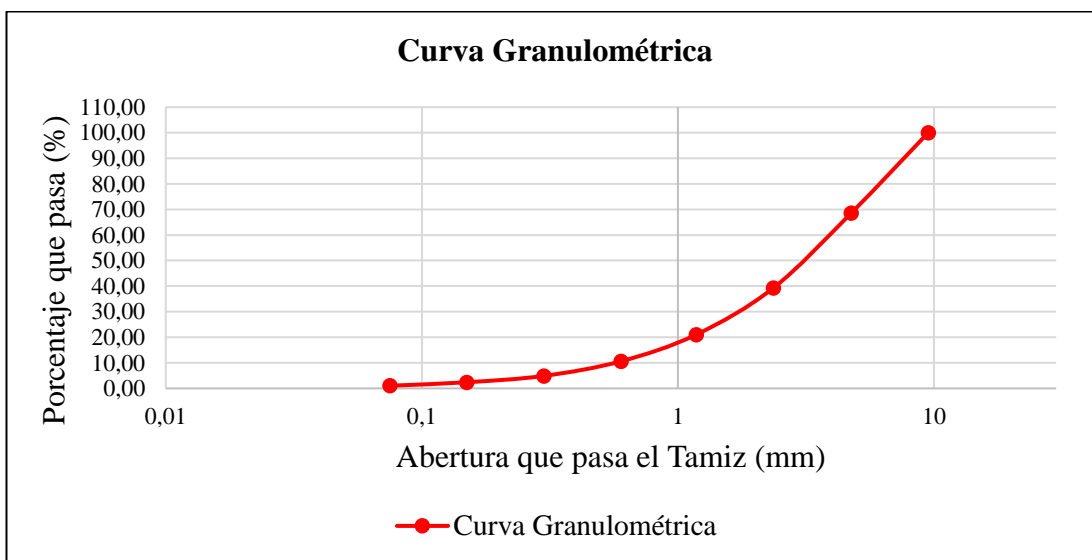
Tabla N° 57.- Ensayo Granulometría del vidrio triturado

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 					
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua					
Granulometría del vidrio triturado					
Origen:		Reciclado			
Ensayado por:		Jorge Estuardo Fernández López			
Fecha:		Noviembre-2023			
Norma:		INEN 696			
Masa del agregado:		504 g			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en (g)		% Retenido acumulado	% que pasa
		Parcial	Acumulado		
3/8	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.75	158.54	158.54	31.46	68.54

#8	2.36	147.48	306.02	60.72	39.28
#16	1.18	91.87	397.89	78.95	21.05
#30	0.60	52.58	450.46	89.38	10.62
#50	0.30	28.85	479.31	95.10	4.90
#100	0.15	12.56	491.87	97.60	2.40
#200	0.075	6.87	498.74	98.96	1.04
Fuente		5.25	503.98	100.00	0.00
$\Sigma=$		503.98			
D10		0.56			
D30		1.66			
D60		3.87			
Cu		6.96			
Cc		1.28			

Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 49.- Curva granulométrica del vidrio triturado



Autor: Jorge Fernández

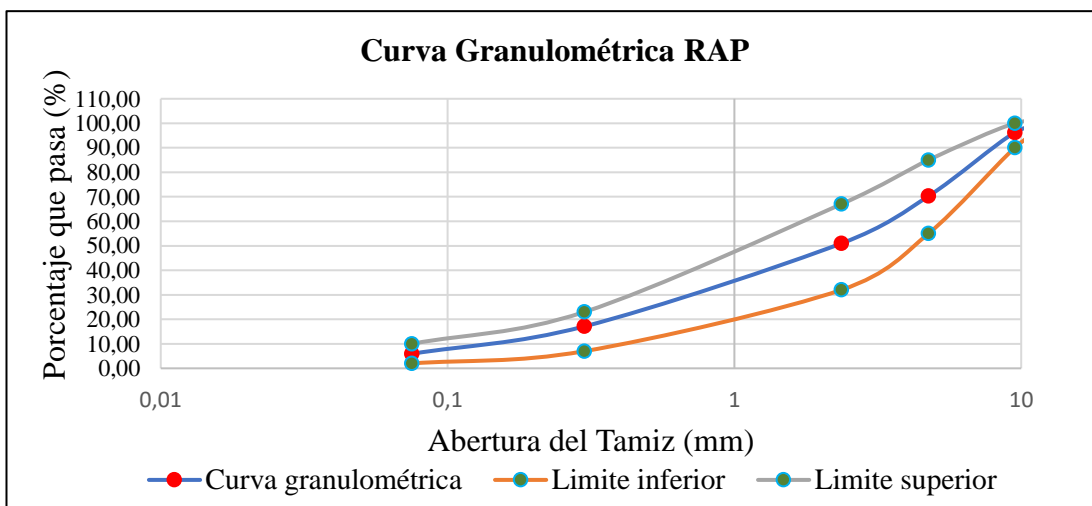
Tabla N° 58.- Ensayo de granulometría del RAP

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil	
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”		
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO INTERMEDIO		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	

Norma:		INEN 696				
Masa del agregado:		1854.30 g				
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en (g)		% Retenido acumulado	% que pasa	Límites MOP-001-F 2002 (3/8")
		Parcial	Acumulado			
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00	--
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00	--
1/2"	12.7	9.50	9.50	0.51	99.49	100 - 100
3/8"	9.5	60.30	69.80	3.76	96.24	90 - 100
#4	4.75	481.70	551.50	29.74	70.26	55 - 85
#8	2.36	357.80	909.30	49.04	50.96	32 - 67
#50	0.3	627.80	1537.10	82.89	17.11	7 - 23
#200	0.075	207.30	1744.40	94.07	5.93	2 - 10
Fuente		109.90	1854.30	100.00	0.00	--
$\Sigma=$		1854.30				
D10		0.12				
D30		0.66				
D60		3.27				
Cu		26.35				
Cc		1.06				

Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 50.- Curva granulométrica del RAP



Autor: Jorge Fernández



6.2. Anexo 2, resultado de los ensayos de gravedad específica

Tabla N° 59.- Gravedad específica del agregado grueso e intermedio obtenido de la planta de asfalto JEAL Construcciones

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 		
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”		
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO E INTERMEDIO		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Martes, 24 de octubre de 2023	
Norma:	INEN 857	
Descripción	Unidad	Valor
Peso de la canastilla al aire	g	1304.000
Peso de la canastilla + agregado SSS en el aire	g	5172.000
Peso del agregado S.S.S en el aire	g	3868.000
Peso de la canastilla + agregado SSS en agua	g	3491.000
Peso de la canastilla sumergida	g	1135.000
Peso del agregado en agua	g	2356.000
Peso del recipiente + suelo seco	g	4025.200
Peso del recipiente vacío	g	260.400
Peso del suelo seco en horno	g	3764.800
Temperatura del agua y suelo en °C	°C	18.000
Factor de corrección de temperatura	T=K	1.00039
Densidad aparente de los sólidos	-	2.672
Gravedad específica GS	-	2.491
Porcentaje de absorción	%	2.741

Autor: Jorge Fernández



Tabla N° 60.- Gravedad específica del agregado fino obtenido de la planta de asfalto JEAL Construcciones

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 		
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”		
Gravedad específica del agregado fino		

Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Martes,24 de octubre de 2023	
Norma:	INEN 856	
Descripción	Unidad	Valor
Temperatura del agua y suelo en °C	°C	24
Peso del recipiente	g	78.8
Recipiente + agregado seco al horno	g	569.8
Peso del agregado SSS al aire	g	500.0
Peso del suelo seco al horno	g	491.0
Peso picnómetro + agua	g	651.4
Peso suelo seco + peso picnómetro + agua	g	1142.4
Picnómetro + agua +suelo (sumergido)	g	957.8
Desplazamiento del agua	g	184.6
Factor de corrección de temperatura	T=K	0.999
Gravedad específica GS	--	2.657
Capacidad de Absorción	%	1.833

Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 61.- Gravedad específica del agregado fino



 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 		
<p>“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”</p>		
Gravedad específica del agregado fino		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Martes,24 de octubre de 2023	
Norma:	INEN 856	
Descripción	Unidad	Valor
Temperatura del agua y suelo en °C	°C	24
Peso del recipiente	g	260.8
Recipiente + agregado seco al horno	g	752.0

Peso del agregado SSS al aire	g	500.0
Peso del suelo seco al horno	g	491.2
Peso picnómetro + agua	g	670.3
Peso suelo seco + peso picnómetro + agua	g	1161.5
Picnómetro + agua +suelo (sumergido)	g	976.8
Desplazamiento del agua	g	184.7
Factor de corrección de temperatura	T=K	0.999
Gravedad específica GS	--	2.657
Capacidad de Absorción	%	1.792

Autor: Jorge Fernández



6.3. Anexo 3, resultado de los ensayos de resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso

Tabla N° 62.- Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 			
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”			
Resistencia al desgaste por abrasión			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López		
Fecha:	23 de octubre de 2023		
Norma:	ASTM C-131		
Método:	B		
Descripción	Nomenclatura	Unidad	Valor
Peso del agregado antes del ensayo	A	g	5000
Peso del agregado no gastado después del ensayo	B	g	3656.60
Pérdida por desgaste	C=A-B	g	1343.4
Desgaste del agregado	$D=(C/A) *100$	%	26.868

Autor: Jorge Fernández



Tabla N° 63.- Ensayo Resistencia al desgaste por abrasión del vidrio triturado

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 	
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”	

Resistencia al desgaste por abrasión			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López		
Fecha:	23 de octubre de 2023		
Norma:	ASTM C-131		
Método:	B		
Descripción	Nomenclatura	Unidad	Valor
Peso del agregado antes del ensayo	A	g	5000
Peso del agregado no gastado después del ensayo	B	g	3441.40
Pérdida por desgaste	C=A-B	g	1558.6
Desgaste del agregado	$D=(C/A) *100$	%	31.172

Autor: Jorge Fernández



Tabla N° 64.- Resistencia al desgaste por abrasión del RAP

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 			
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”			
Resistencia al Desgaste por Abrasión del RAP			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López		
Fecha:	23 de octubre de 2023		
Norma:	ASTM C-131		
Método:	B		
Descripción	Nomenclatura	Unidad	Valor
Peso del agregado antes del ensayo	A	g	5000
Peso del agregado no gastado después del ensayo	B	g	3215.32
Pérdida por desgaste	C=A-B	g	1784.68
Desgaste del agregado	$D=(C/A) *100$	%	35.6936

Autor: Jorge Fernández

6.4. Anexo 4, resultado del ensayo porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso

Tabla N° 65.- Porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso



 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 	
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”	

Porcentaje de caras fracturadas		
Origen:	Mina JEAL-Ambato -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Martes,24 de octubre de 2023	
Norma:	ASTM D 5821-95	
Tamaño Agregado:	3/4" a 1/2"	
Peso de la muestra:	1200 g	
Descripción	Unidad	Valor
Peso de partículas fracturadas	g	1150.8
Peso de partículas cuestionables	g	31.7
Peso partículas no fracturadas	g	10.9
% de caras fracturadas	%	97.8

Autor: Jorge Fernández



6.5. Anexo 5, resultado de los ensayos de contenido de humedad

Tabla N° 66.- Contenido de humedad natural del vidrio triturado

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil 		
<p>“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”</p>		
Ensayo de Contenido de Humedad Natural		
Vía: Cevallos - Mocha	Origen:	Reciclado
ID Muestra: Vidrio Triturado	Tamaño del Agregado:	Varios
Norma: AASHTO T265 2015		
Recipiente Número	V1	V2
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)	152.637 g	156.754 g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)	152.585 g	156.705 g
Peso del agua (Ww)	0.052 g	0.049 g
Peso del recipiente (Wr)	1.954 g	1.998 g
Peso de la muestra seca (Ws)	150.631g	154.707 g
Contenido de humedad (ω)	0.035 %	0.032 %
Promedio contenido de humedad (ω)	0.033 %	



Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 67.- Ensayo de contenido de humedad natural del RAP, muestra 1

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil			
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”			
Ensayo de Contenido de Humedad Natural del RAP			
Vía:	Cevallos - Mocha	Origen:	Reciclado
ID Muestra:	M1	Coordenadas:	765704.6096
Norma:	AASHTO T265 2015		9849672.6831
Recipiente Número		1.1	1.2
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)		104.954 g	132.485 g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)		104.275 g	131.479 g
Peso del agua (Ww)		0.679 g	1.006 g
Peso del recipiente (Wr)		1.994 g	1.945 g
Peso de la muestra seca (Ws)		102.281 g	129.534 g
Contenido de humedad (ω)		0.664 %	0.777 %
Promedio contenido de humedad (ω)		0.720 %	



Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 68.- Ensayo de contenido de humedad natural del RAP, muestra 2

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil			
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”			
Ensayo de Contenido de Humedad Natural del RAP			
Vía:	Cevallos - Mocha	Origen:	Reciclado
ID Muestra:	M2	Coordenadas:	766233.5304
Norma:	AASHTO T265 2015		9849259.6021
Recipiente Número		2.1	2.2
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)		144.214 g	146.122 g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)		143.235 g	145.182 g
Peso del agua (Ww)		0.979 g	0.940 g
Peso del recipiente (Wr)		2.001 g	1.940 g
Peso de la muestra seca (Ws)		141.234 g	143.242 g
Contenido de humedad (ω)		0.693 %	0.656 %
Promedio contenido de humedad (ω)		0.675 %	

Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 69.- Ensayo de contenido de humedad natural del RAP, muestra 3

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil			
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”			
Ensayo de Contenido de Humedad Natural del RAP			
Vía:	Cevallos - Mocha	Origen:	Reciclado
ID Muestra:	M3	Coordenadas:	765818.5525
Norma:	AASHTO T265 2015		9848208.8471
Recipiente Número		3.1	3.2
Peso muestra húmeda + recipiente (Wm + Wr)		150.092 g	139.719 g
Peso muestra seca + recipiente (Ws + Wr)		149.176 g	138.841 g
Peso del agua (Ww)		0.916 g	0.878 g
Peso del recipiente (Wr)		1.949 g	1.934 g
Peso de la muestra seca (Ws)		147.227 g	136.907 g
Contenido de humedad (ω)		0.662 %	0.641 %
Promedio contenido de humedad (ω)		0.632 %	

Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 70.- Contenido de humedad promedio del pavimento asfáltico reciclado

Contenido de humedad final del pavimento asfáltico reciclado	
Muestra 1	0.720%
Muestra 2	0.675%
Muestra 3	0.632%
Humedad promedio	0.676%

Autor: Jorge Fernández

6.6. Anexo 6, resultado del ensayo de centrifugado del pavimento asfáltico reciclado

Tabla N° 71.- Centrifugado del RAP

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil		
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”		
Ensayo de centrifugado del RAP		
Vía:	Cevallos-Mocha	
Muestra:	Pavimento asfáltico reciclado	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Norma:	ASTM D 2172	
Peso muestra (g)		
Peso de recipiente	2242.10 g	

Peso muestra + recipiente	4242.10 g
Peso muestra	2000.00 g
Peso filtro (g)	
Peso inicial	21.10 g
Peso final	28.80 g
Peso aumentado	7.70 g
Líquido de la extracción (ml)	
Vol. Extracción total	12440.00 ml
Parte de Alícuota	50.00 ml
Proporción total	248.80 ml
Peso cenizas en el líquido (g)	
Peso Crisol	136.1884 g
Peso Crisol + Residuo	136.2236 g
Peso de Residuo	0.0352 g
Peso total de cenizas	8.7578 g
Peso agregado (g)	
Peso del recipiente	260.50 g
Peso agregado + recipiente	2114.80 g
Peso del agregado	1854.30 g
Peso total de agregado (g)	
Peso agregado	1854.30 g
Peso total de cenizas	8.76 g
Peso aumentado	7.70 g
Peso total de agregado	1870.76 g
Contenido de asfalto (%)	
Peso asfalto en muestra	129.24 g
% de asfalto	6.46 %

Autor: Jorge Fernández

6.7. Anexo 7, resultado de los ensayos Rice



Tabla N° 72.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica convencional con adición del 5.5% de AC-20

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil	
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”		
Ensayo rice 5.5% cemento asfáltico (Gravedad específica máxima teórica)		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
Descripción	Unidad	5.5% de AC-20
Peso frasco + agua a 25°C	g	18663.50

Peso frasco	g	5233.00
Peso muestra + frasco	g	6727.50
Peso muestra	g	1494.50
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g	19553.400
Gmm a 25°C	--	2.472

Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 73.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica convencional con adición del 6% de AC-20

 <p style="text-align: center;">Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil</p> 		
<p>“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”</p>		
<p>Ensayo rice 6% cemento asfáltico (Gravedad específica máxima teórica)</p>		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
	Descripción	Unidad
	6% de AC-20	
	Peso frasco + agua a 25°C	g
	Peso frasco	g
	Peso muestra + frasco	g
	Peso muestra	g
	Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g
	Gmm a 25°C	--

Autor: Jorge Fernández



Tabla N° 74.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica convencional con adición del 6.5% de AC-20

 <p style="text-align: center;">Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil</p> 		
<p>“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”</p>		
<p>Ensayo rice 6.5% cemento asfáltico (Gravedad específica máxima teórica)</p>		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
	Descripción	Unidad
	6.5% de AC-20	
	Peso frasco + agua a 25°C	g
	Peso frasco	g

Peso muestra + frasco	g	6728.50
Peso muestra	g	1495.50
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g	19536.700
Gmm a 25°C	--	2.403

Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 75.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica convencional con adición del 7% de AC-20

 <p style="text-align: center;">Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil</p> 		
<p>“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”</p> <p>Ensayo rice 7% cemento asfáltico (Gravedad específica máxima teórica)</p>		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
Descripción	Unidad	7% de AC-20
Peso frasco + agua a 25°C	g	18663.50
Peso frasco	g	5233.00
Peso muestra + frasco	g	6730.00
Peso muestra	g	1497.00
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g	19523.700
Gmm a 25°C	--	2.351

Autor: Jorge Fernández



Tabla N° 76.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 4.5% de AC-20 y sustitución parcial del 2.10% de RAP y 1.50% de vidrio triturado.

 <p style="text-align: center;">Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil</p> 		
<p>“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”</p> <p>Ensayo Rice 4.5% de AC-20 y 2.10% de RAP y 1.50% de vidrio triturado</p>		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
Descripción	Unidad	Resultado
Peso frasco + agua a 25°C	g	18633.00

Peso frasco	g	5236.50
Peso muestra + frasco	g	6736.50
Peso muestra	g	1500.00
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g	19558.500
Gmm a 25°C	--	2.611



Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 77.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 5% de AC-20 y sustitución parcial del 2.80% de RAP y 2.25% de vidrio triturado.

 <p style="text-align: center;">Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil</p> 		
<p>“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”</p>		
Ensayo Rice 5% de AC-20 y 2.80% de RAP y 2.25% de vidrio triturado		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
Descripción	Unidad	Resultado
Peso frasco + agua a 25°C	g	18633.00
Peso frasco	g	5236.50
Peso muestra + frasco	g	6736.50
Peso muestra	g	1500.00
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g	19538.000
Gmm a 25°C	--	2.521

Autor: Jorge Fernández



Tabla N° 78.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 5.5% de AC-20 y sustitución parcial del 3.50% de RAP y 3.00% de vidrio triturado.

 <p style="text-align: center;">Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil</p> 		
<p>“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”</p>		
Ensayo Rice 5.5% de AC-20 y 3.50% de RAP y 3.00% de vidrio triturado		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
Descripción	Unidad	Resultado

Peso frasco + agua a 25°C	g	18633.00
Peso frasco	g	5236.50
Peso muestra + frasco	g	6736.50
Peso muestra	g	1500.00
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g	19531.750
Gmm a 25°C	--	2.495



Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 79.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 6.00% de AC-20 y sustitución parcial del 4.20% de RAP y 3.75% de vidrio triturado.

 <p style="text-align: center;">Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil</p> 		
<p>“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”</p>		
Ensayo Rice 6.00% de AC-20 y 4.20% de RAP y 3.75% de vidrio triturado		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
Descripción	Unidad	Resultado
Peso frasco + agua a 25°C	g	18633.00
Peso frasco	g	5236.00
Peso muestra + frasco	g	6736.00
Peso muestra	g	1500.00
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g	19525.500
Gmm a 25°C	--	2.469

Autor: Jorge Fernández



Tabla N° 80.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 6.5% de AC-20 y sustitución parcial del 4.90% de RAP y 4.50% de vidrio triturado.

 <p style="text-align: center;">Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil</p> 		
<p>“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”</p>		
Ensayo Rice 6.5% de AC-20 y 4.90% de RAP y 4.50% de vidrio triturado		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	

Norma:	ASTM D 2041	
Descripción	Unidad	Resultado
Peso frasco + agua a 25°C	g	18633.00
Peso frasco	g	5236.00
Peso muestra + frasco	g	6736.00
Peso muestra	g	1500.00
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g	19519.300
<i>Gmm</i> a 25°C	--	2.444

Autor: Jorge Fernández

Tabla N° 81.- Ensayo Rice para la mezcla asfáltica con adición del 7.00% de AC-20 y sustitución parcial del 5.60% de RAP y 5.25% de vidrio triturado.

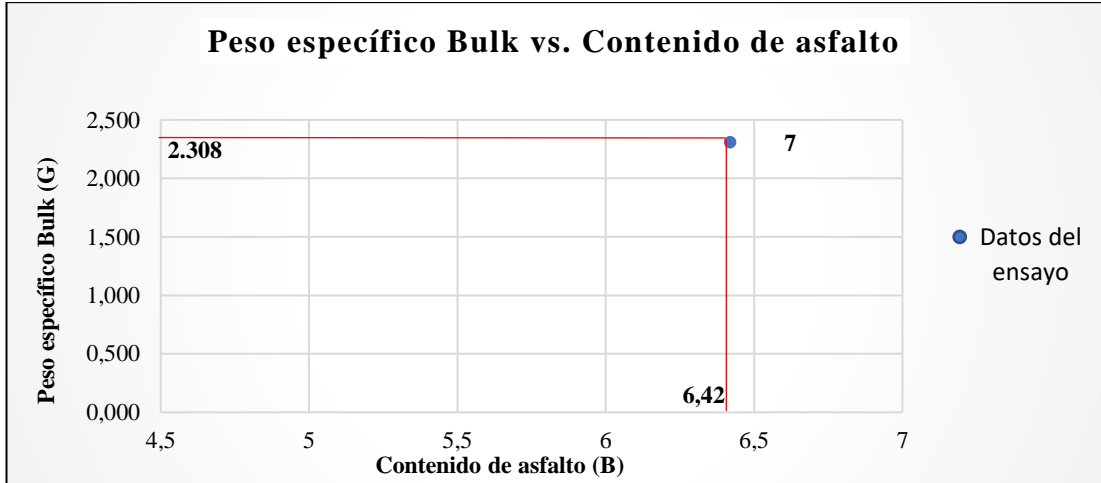
	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil	
“Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua”		
Ensayo Rice 7.00% de AC-20 y 5.60% de RAP y 5.25% de vidrio triturado		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jorge Estuardo Fernández López	
Fecha:	Noviembre-2023	
Norma:	ASTM D 2041	
Descripción	Unidad	Resultado
Peso frasco + agua a 25°C	g	18633.00
Peso frasco	g	5236.50
Peso muestra + frasco	g	6736.50
Peso muestra	g	1500.00
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	g	19487.600
<i>Gmm</i> a 25°C	--	2.324

Autor: Jorge Fernández

6.8. Anexo 8, gráficas para el diseño de mezclas asfálticas, Método Marshall

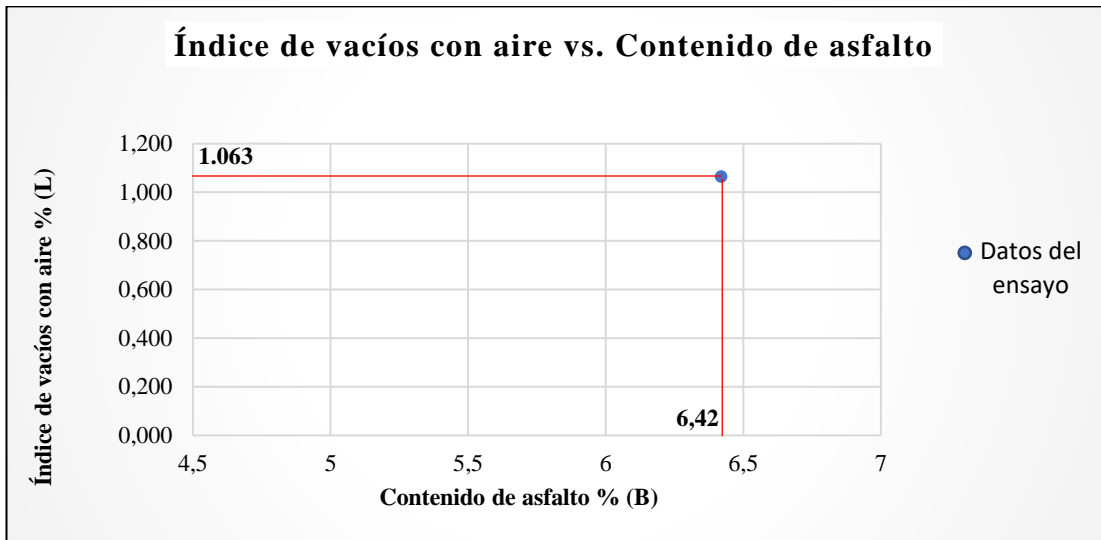
6.8.1. Primera alternativa de mezcla asfáltica

Ilustración N° 51.- Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto



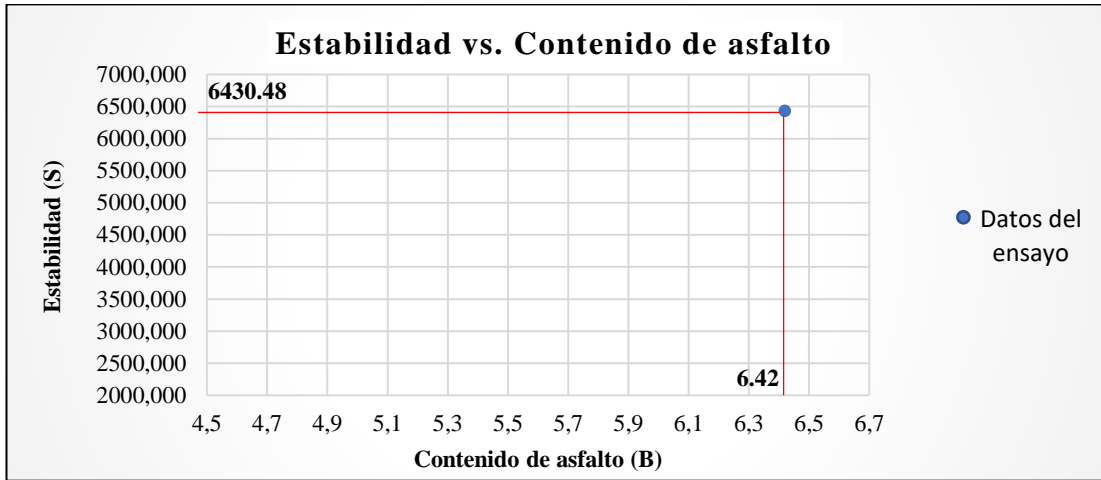
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 52.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto



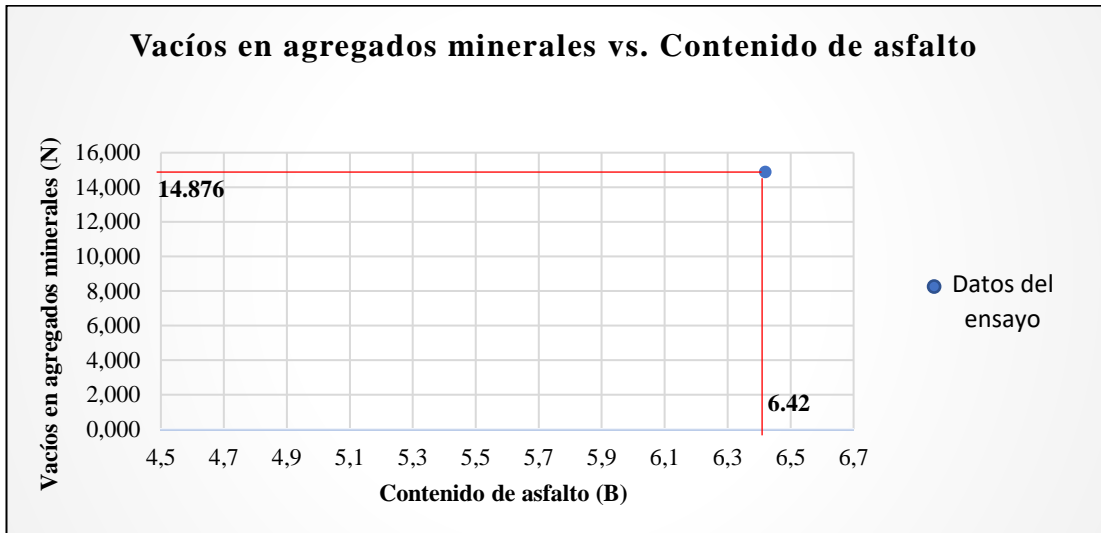
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 53.- Estabilidad vs. Contenido de asfalto



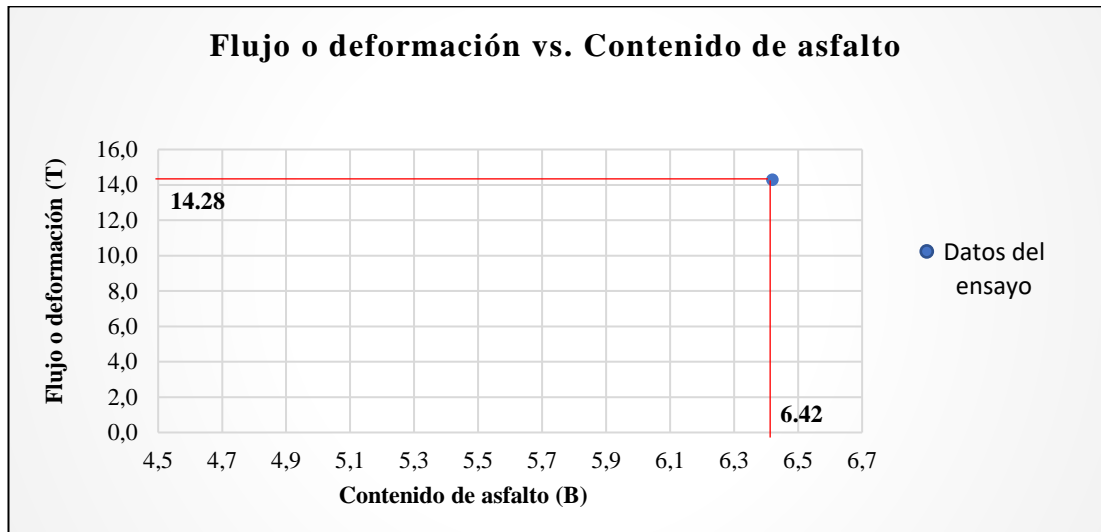
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 54.- Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de asfalto



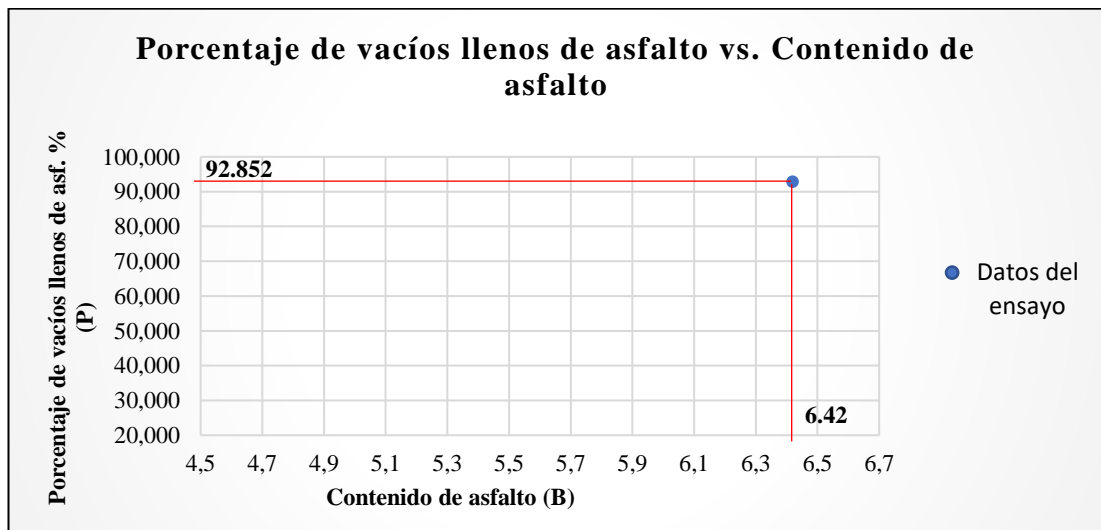
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 55.- Flujo o deformación vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

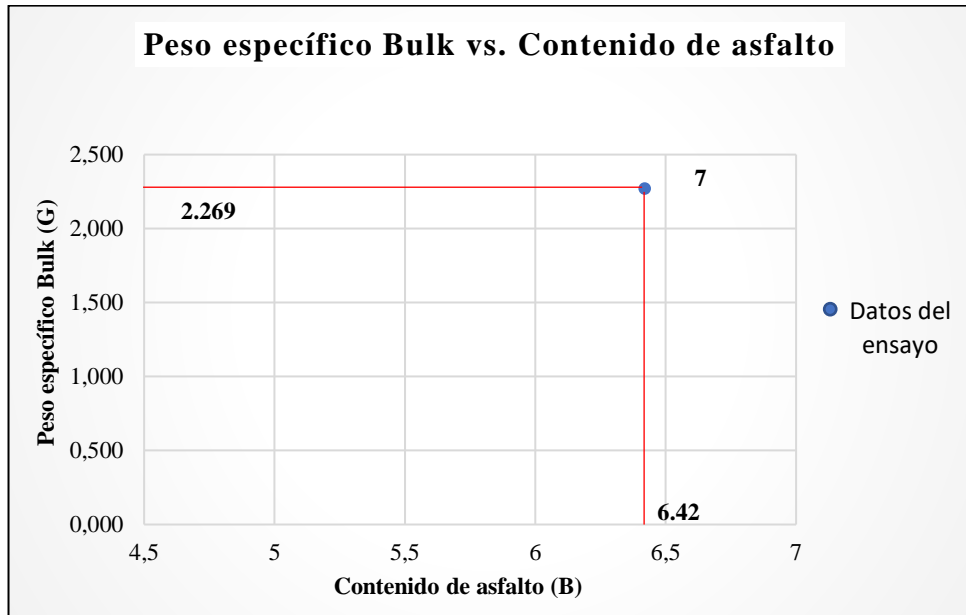
Ilustración N° 56.- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

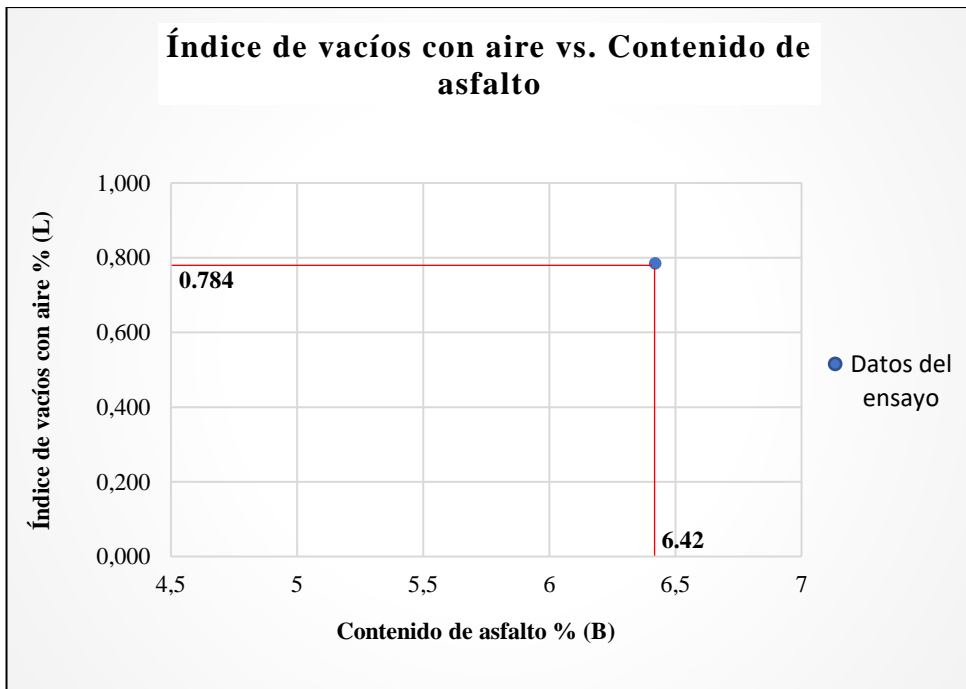
6.8.2. Segunda alternativa de mezcla asfáltica

Ilustración N° 57.- Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto



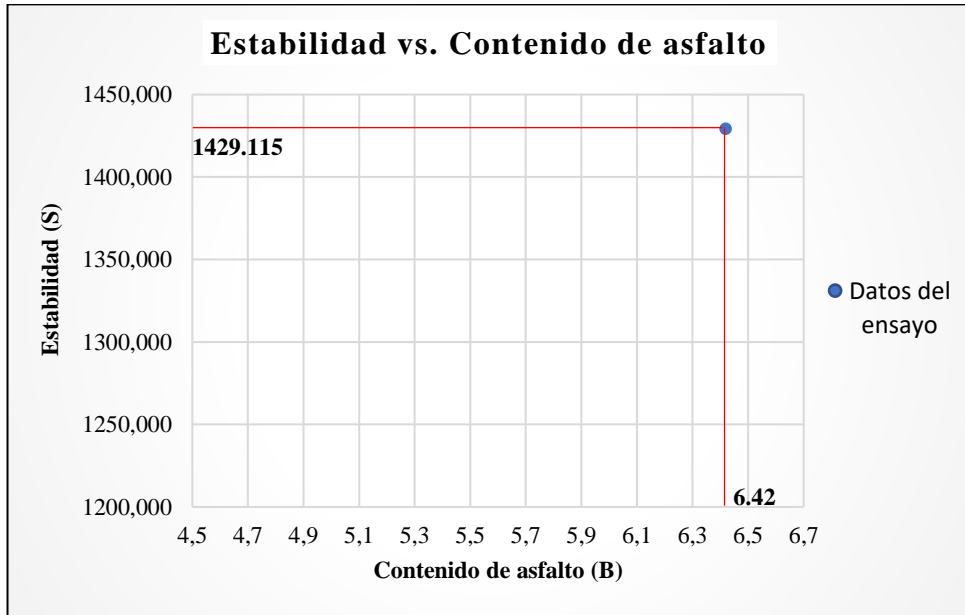
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 58.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto



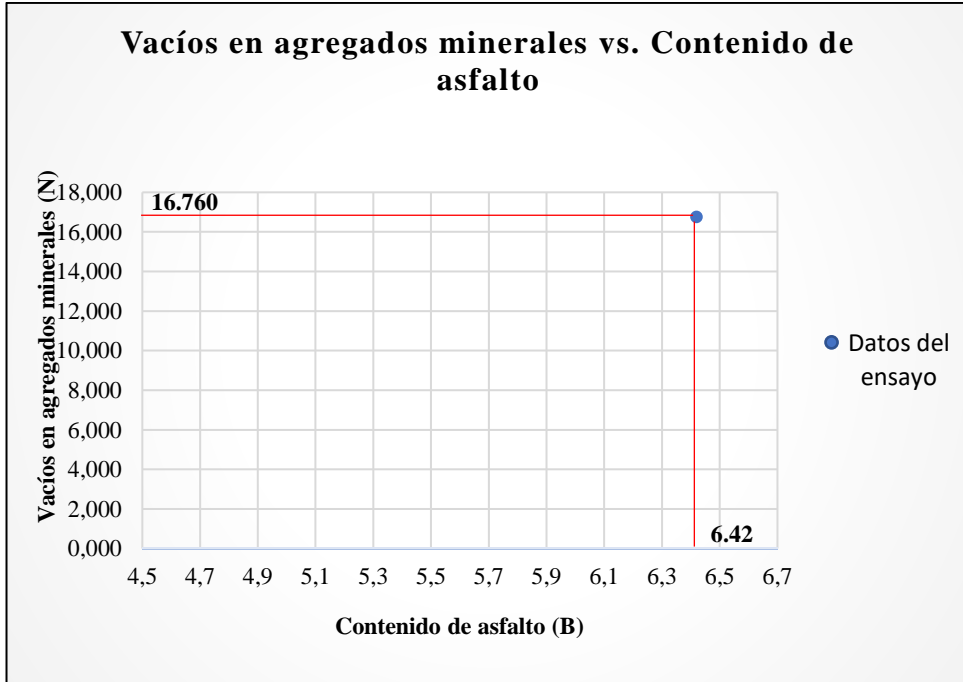
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 59.- Estabilidad vs. Contenido de asfalto



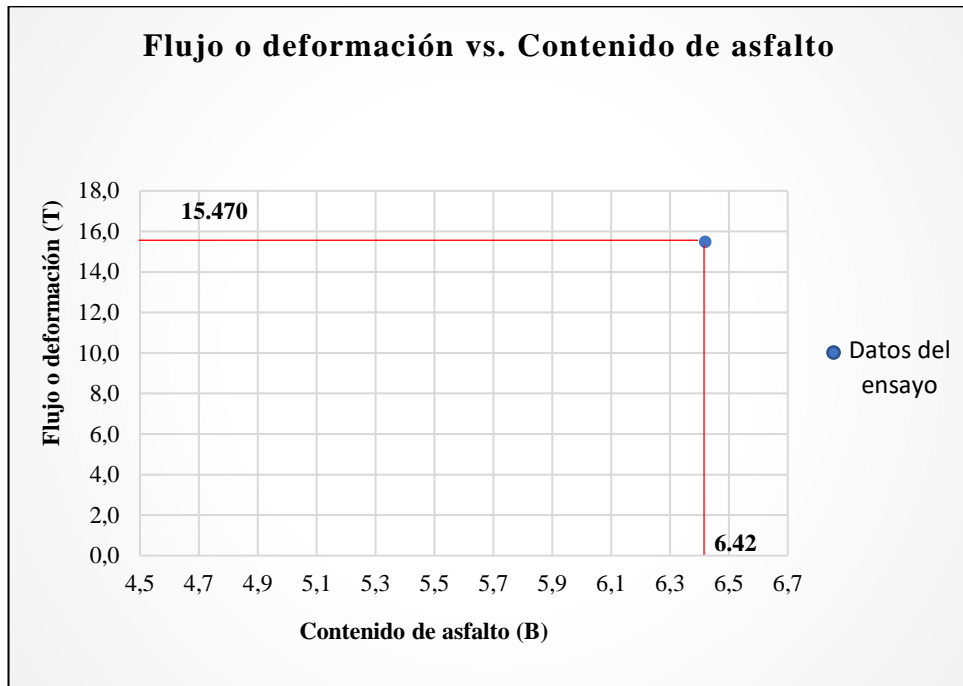
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 60.- Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de asfalto



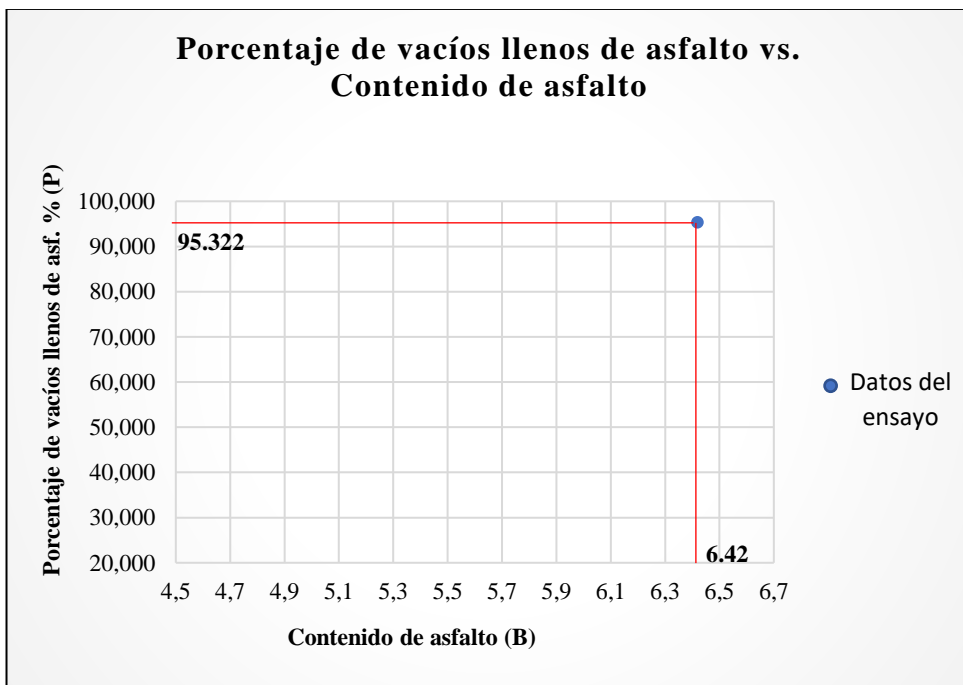
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 61.- Flujo o deformación vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

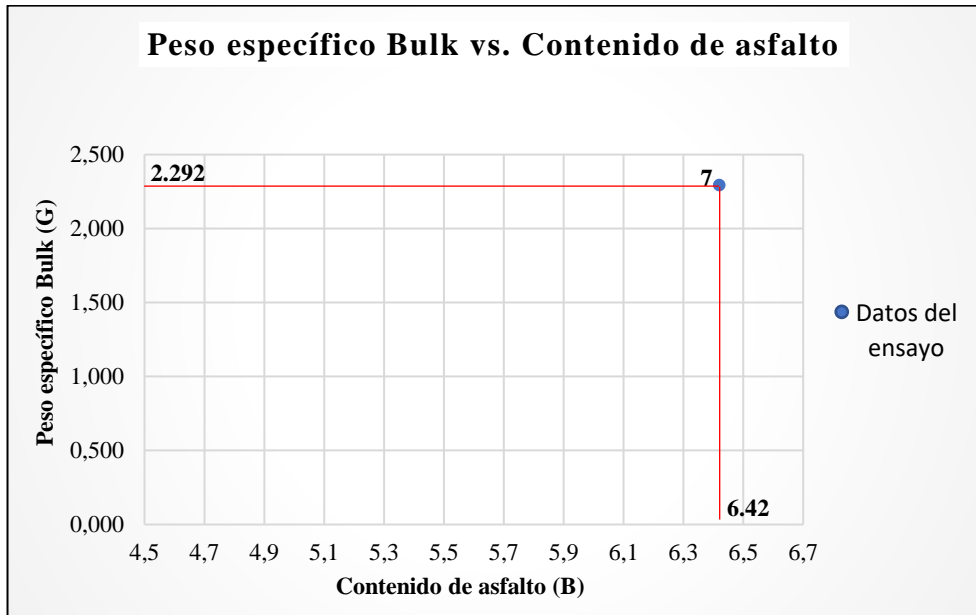
Ilustración N° 62.- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

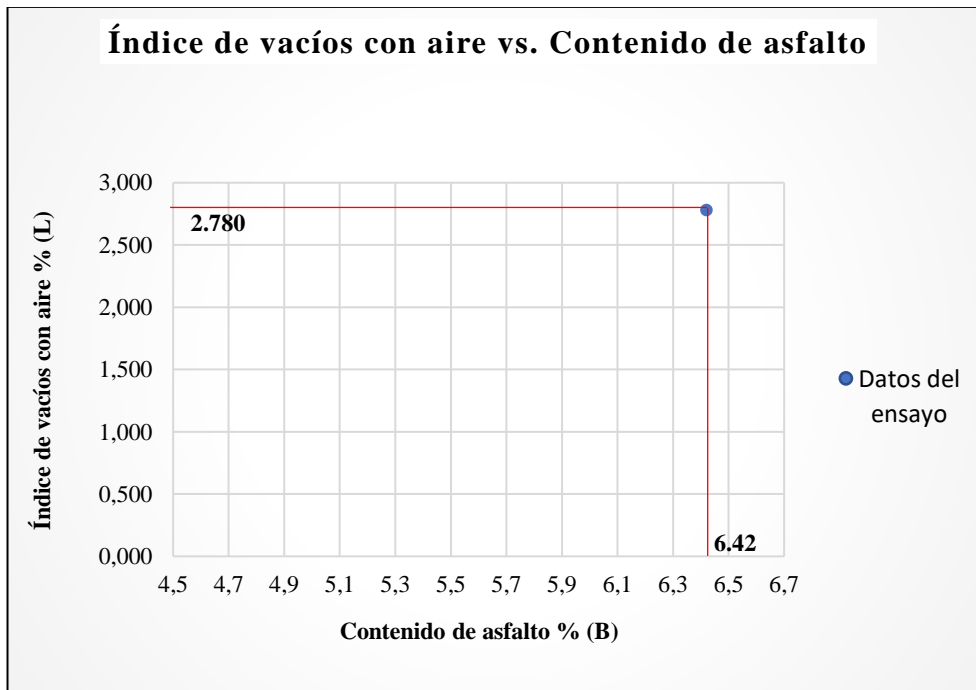
6.8.3. Tercera alternativa de mezcla asfáltica

Ilustración N° 63.- Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto



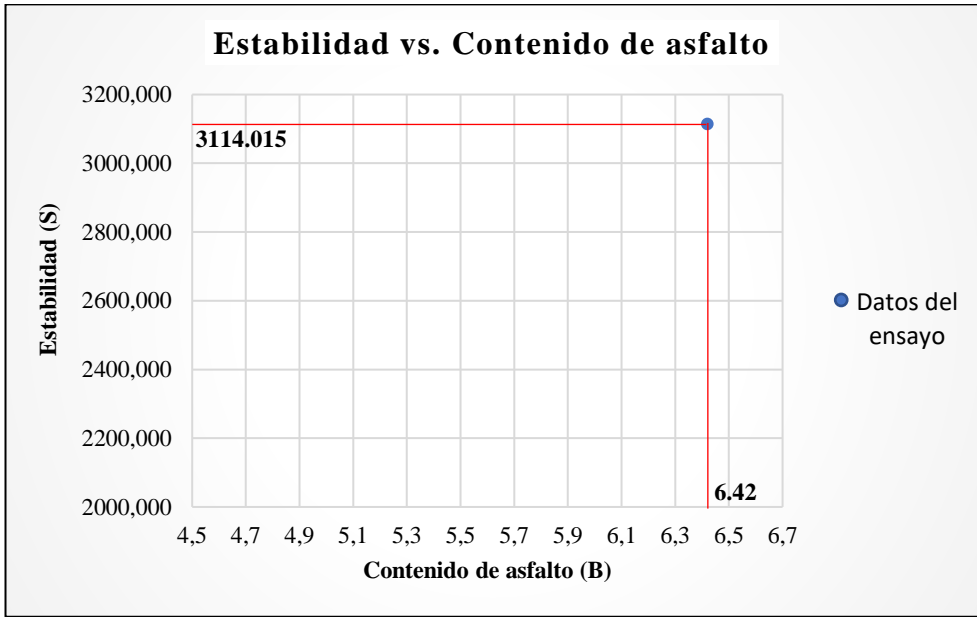
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 64.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 65.- Estabilidad vs. Contenido de asfalto



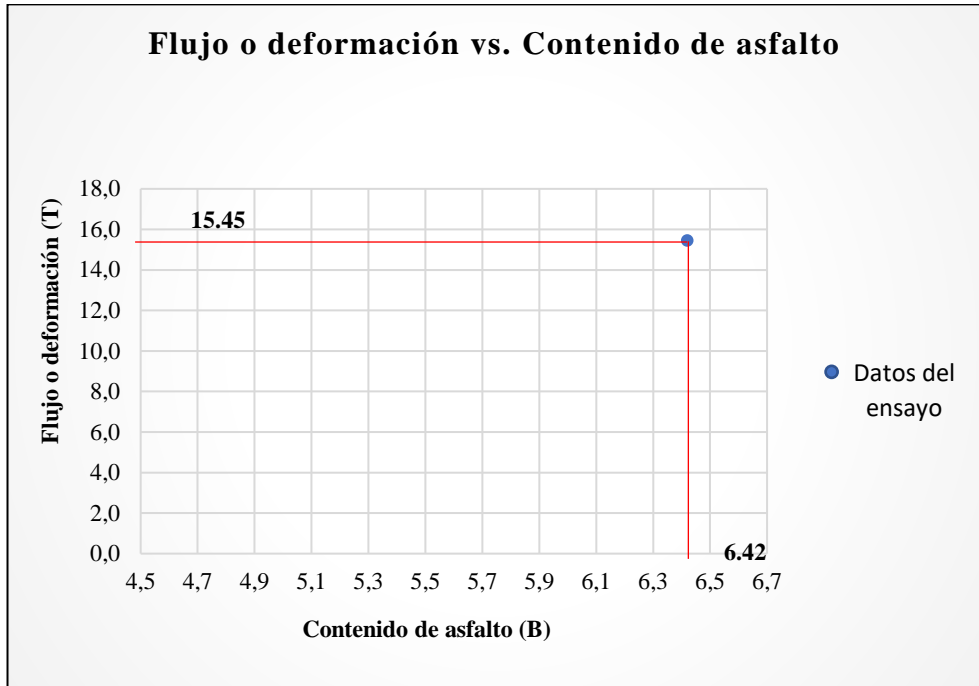
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 66.- Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de asfalto



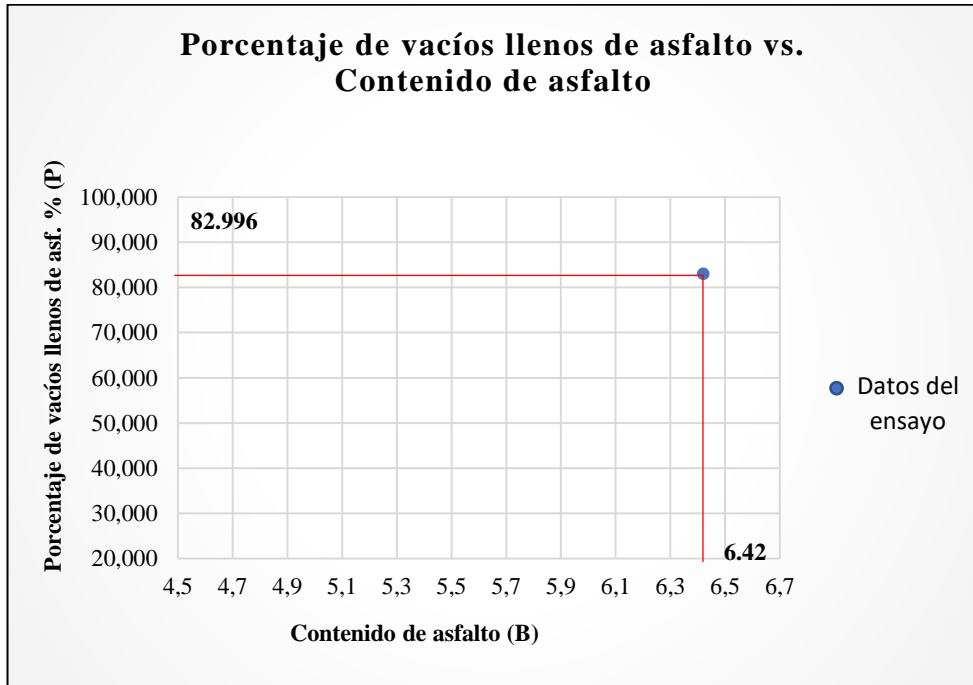
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 67.- Flujo o deformación vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 68.- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto

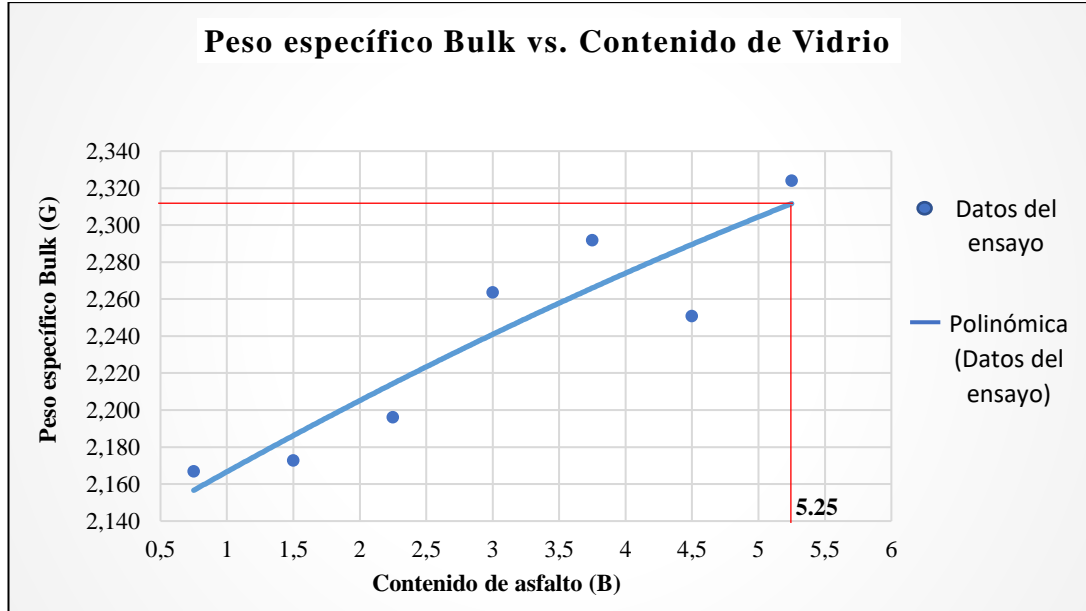


Autor: Jorge Fernández

6.8.4. Cuarta alternativa de mezcla asfáltica

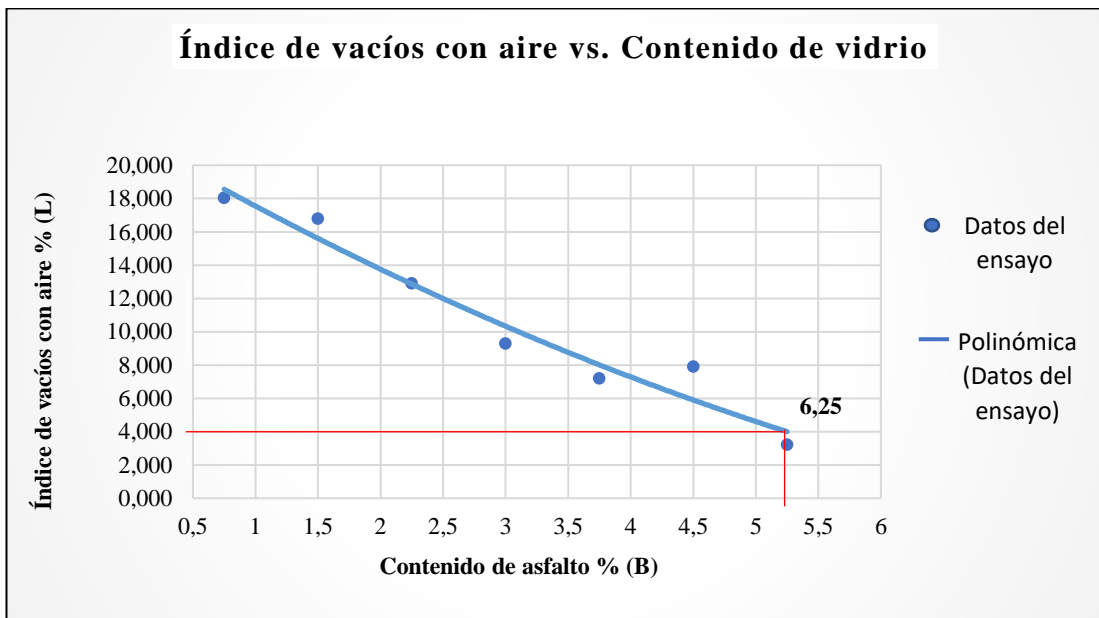
6.8.4.1. Contenido óptimo de vidrio

Ilustración N° 69.- Peso específico Bulk vs. Contenido de vidrio



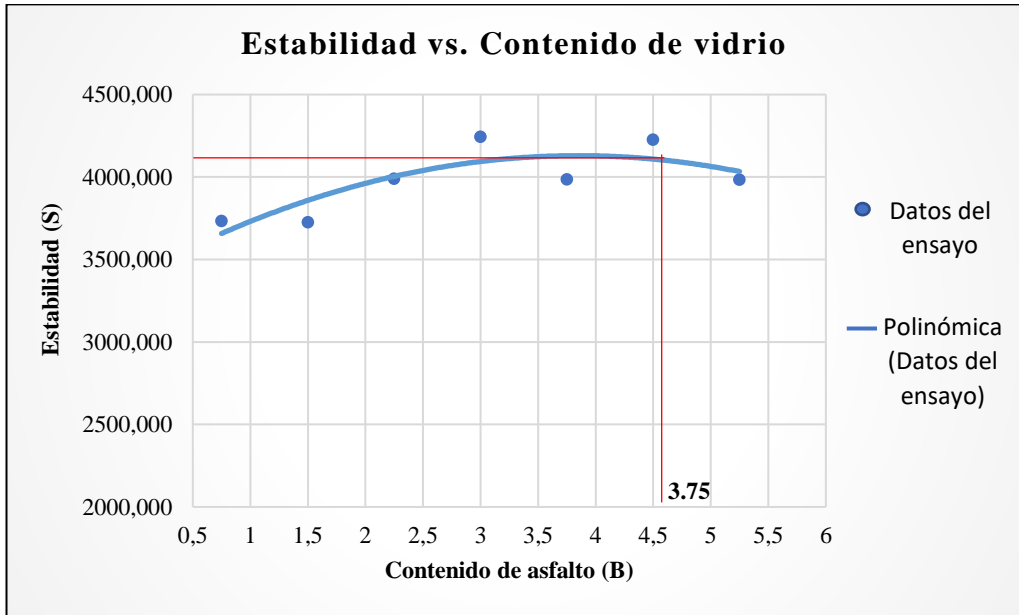
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 70.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de vidrio



Autor: Jorge Fernández

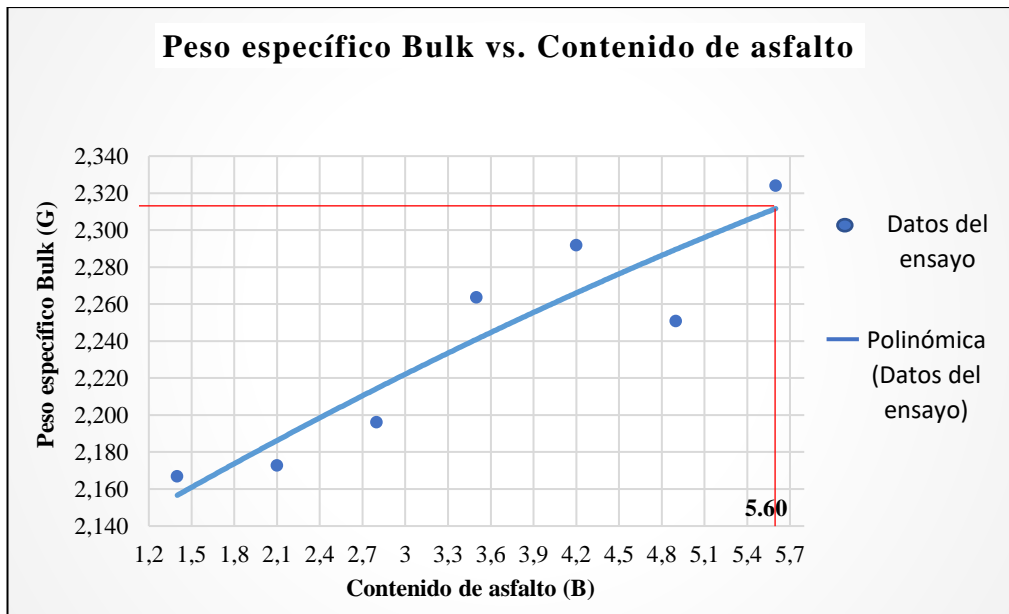
Ilustración N° 71.- Estabilidad vs. Contenido de vidrio



Autor: Jorge Fernández

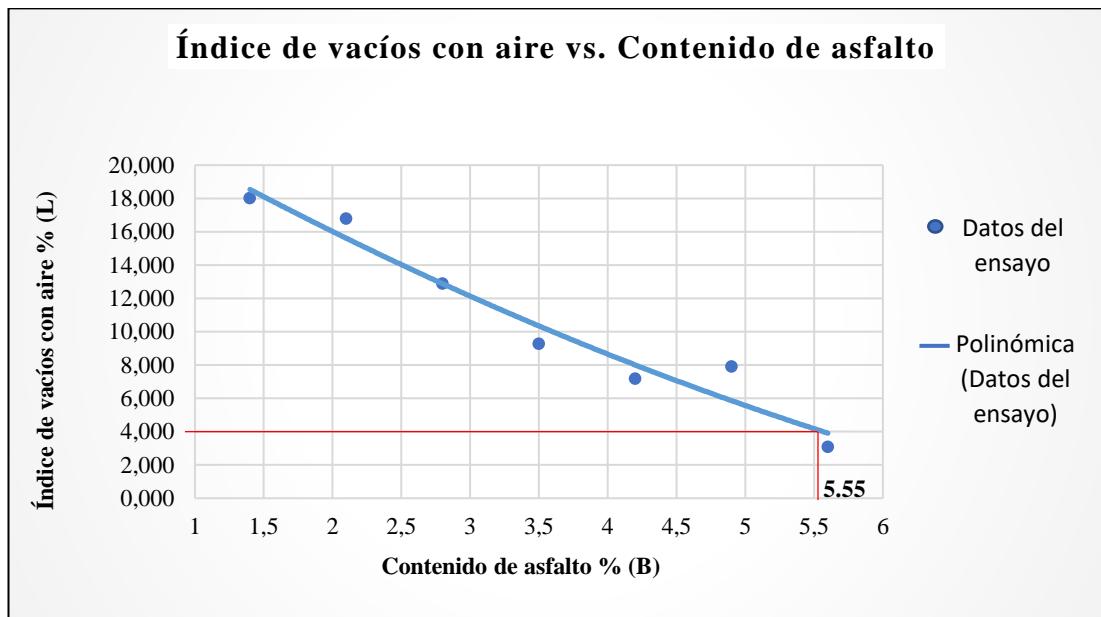
6.8.4.2. Contenido óptimo de Pavimento Asfáltico Reciclado

Ilustración N° 72.- Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto



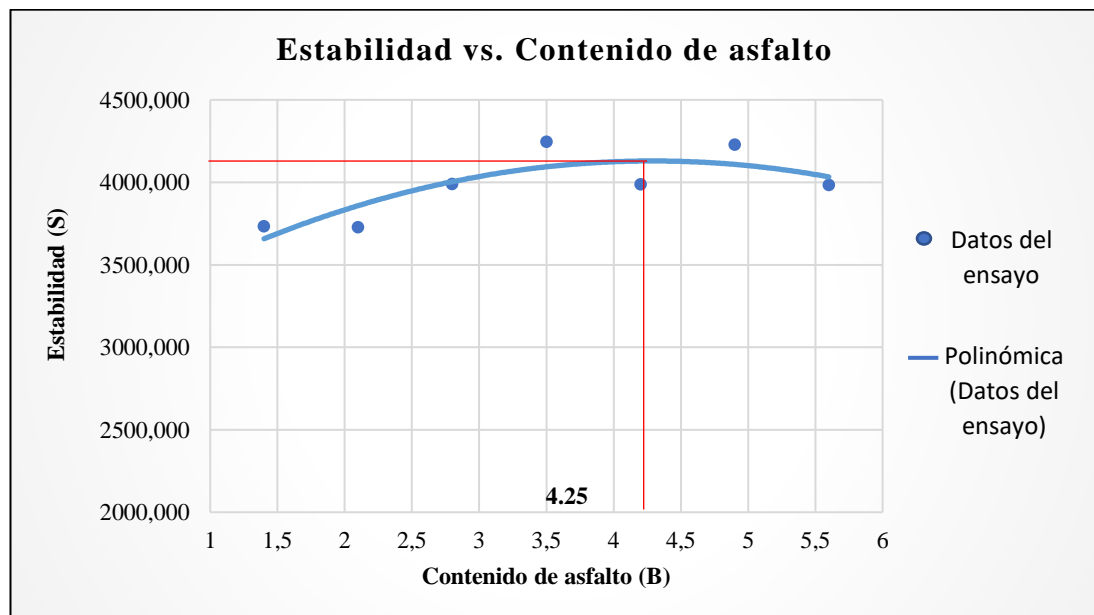
Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 73.- Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 74.- Estabilidad vs. Contenido de asfalto



Autor: Jorge Fernández

6.9. Anexo 9, diseño de la estructura del pavimento flexible para la vía de estudio

Tabla N° 82.- Resultado de los datos para el diseño de pavimento flexible

Datos para el diseño de pavimento		
Tipo de pavimento Clasificación de la vía Tráfico promedio diario anual para 2042 Periodo de diseño		Flexible Colectora Clase II 4920.5 20 años
Descripción	Símbolo	Valores
W18 Diseño	W18	220937.500
CBR Diseño (subrasante)	CBR [%]	15.7
Confiabilidad	R [R]	90
Desviación estándar normal	Zr	-1.282
Desviación estándar global	So	0.45
Índice de serviciabilidad	PSI	2.2
Módulo de resiliencia de la subrasante	Mr [Psi]	17966.19
Módulo de resiliencia de la carpeta asfáltica	Mr CA [Psi]	375000
Módulo de resiliencia de la base	Mr B [Psi]	28000
Módulo de resiliencia de la Sub-base	Mr SB [Psi]	14900
Coefficiente estructural de la carpeta asfáltica	a1 [pulg]	0.405
Coefficiente estructural de la base	a2 [pulg]	0.133
Coefficiente estructural de la Sub-base	a3 [pulg]	0.108
Coeficiente de drenaje	m2 (base)	1
	m3 (Sub-base)	1

Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 75.- SN3 (Capa sub-base) determinado con el programa “Ecuación AASHTO 93”

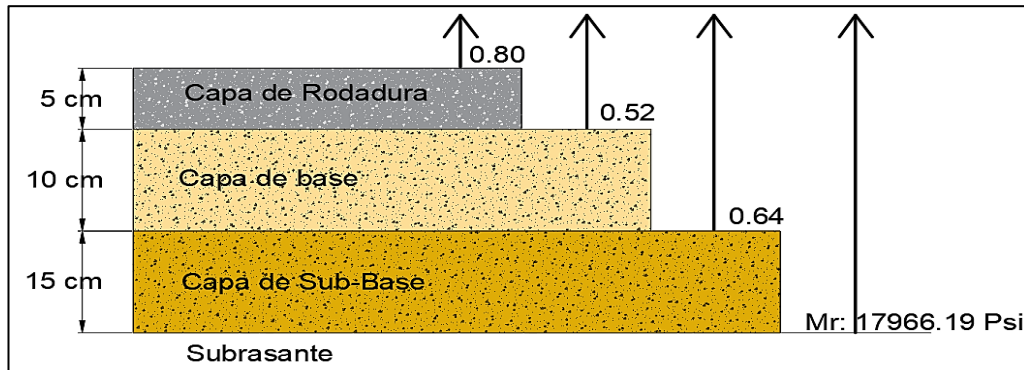
Fuente: Software Ecuación AASHTO 93.

Tabla N° 83.- Espesores para el diseño de pavimentos

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993			
Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con			
PROYECTO	: vidrio de la vía Cevallos – Mocha en el tramo km 0 + 000 al km 3 + 306 de la provincia de Tungurahua	TRAMO	: Cevallos-Mocha
SECCION	: km 0+000 a km 3+306	FECHA	: Enero-2024
DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			375.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14.90
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			220,938
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			90%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1.282
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			17.97
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4.2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2.2
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0.405
Base granular (a ₂)			0.133
Subbase (a ₃)			0.108
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			1.000
Subbase (m ₃)			1.000
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})		1.91	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		1.60	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0.46	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		-0.15	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
	TEORICO	PROPUESTA	
		ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	10.0 cm	5.0 cm	0.80
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	8.8 cm	10.0 cm	0.52
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	-3.5 cm	15.0 cm	0.64
ESPESOR TOTAL (cm)		30.0 cm	1.96
DISEÑADO POR : Jorge Estuardo Fernández López			

Autor: Jorge Fernández


Ilustración N° 76.- Resultados de la distribución de las capas de la estructura del pavimento flexible



Autor: Jorge Fernández

6.10. Anexo 10, análisis de Precios Unitarios, mezclas asfálticas que cumplieron todos los criterios Marshall



Ilustración N° 77.- APU mezcla asfáltica convencional

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS														
RUBRO : 1					APU-001									
DETALLE: Produccion de hormigón asfáltico mezclado en planta					UNIDAD : m ³									
EQUIPOS														
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R									
HERRAMIENTA MENOR (5% DE MANO DE OBRA)	-	-	-	-	0.08									
PLANTA ASFALTOS	1.00	130.00	130.00	0.0340	4.42									
CARGADORA SOBRE RUEDAS	1.00	35.00	35.00	0.0340	1.19									
VOLQUETA	1.00	25.00	25.00	0.0340	0.85									
SUBTOTAL EQUIPOS :					6.55									
MANO DE OBRA														
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNA L/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R									
INSPECTOR DE OBRA (EST. OCUP. B3)	1.00	4.55	4.55	0.0340	0.15									
OPERADOR PLANTA ASFÁLTICA (EST. OCUP. C1)	1.00	4.55	4.55	0.0340	0.15									
OPERADOR CARGADORA FRONTAL (EST. OCUP. C)	1.00	4.55	4.55	0.0340	0.15									
AYUDANTE DE MAQUINARIA	4.00	4.16	16.64	0.0340	0.57									
PEÓN (EST. OCUP. E2)	4.00	4.05	16.20	0.0340	0.55									
SUBTOTAL MANO DE OBRA :					1.58									
MATERIALES														
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B										
ASFALTO AC-20 (SEGÚN ESPECIFICACIONES)	KG	144.45	0.34	49.11										
ARENA PARA ASFALTO	M3	0.39	9.00	3.47										
MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFÁLTICA 3/4"	M3	0.35	15.00	5.20										
MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFÁLTICA 3/8"	M3	0.35	15.00	5.20										
DIESEL	GLN	12.00	1.75	20.99										
SUBTOTAL MATERIALES :					83.97									
TRANSPORTE														
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B										
SUBTOTAL TRANSPORTE :					0.00									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</td> <td style="text-align: right;">92.09</td> </tr> <tr> <td>INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%</td> <td style="text-align: right;">18.42</td> </tr> <tr> <td>OTROS INDIRECTOS 0.00%</td> <td style="text-align: right;">0.00</td> </tr> <tr> <td>COSTO TOTAL DEL RUBRO</td> <td style="text-align: right;">110.51</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">VALOR OFERTADO US\$:</td> <td style="text-align: right;">110.51</td> </tr> </table>					TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	92.09	INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%	18.42	OTROS INDIRECTOS 0.00%	0.00	COSTO TOTAL DEL RUBRO	110.51	VALOR OFERTADO US\$:	110.51
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	92.09													
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%	18.42													
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0.00													
COSTO TOTAL DEL RUBRO	110.51													
VALOR OFERTADO US\$:	110.51													

NOTA: LOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Autor: Jorge Fernández

Ilustración N° 78.- APU mezcla asfáltica CON SUSTITUCIÓN PARCIAL DE RAP, vidrio triturado y 6.65% de AC-20

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS												
RUBRO : 2		APU-002												
Produccion de hormigón asfáltico con DETALLE: sustitución parcial de RAP y Vidrio triturado mezclado en planta		UNIDAD :	m3	UNIDAD :	m3									
EQUIPOS														
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R									
HERRAMIENTA MENOR (5% DE MANO DE OBRA)	-	-	-	-	0.08									
PLANTA ASFALTOS	1.00	130.00	130.00	0.0340	4.42									
CARGADORA SOBRE RUEDAS	1.00	35.00	35.00	0.0681	2.38									
VOLQUETA	1.00	25.00	25.00	0.0681	1.70									
TRITURADORA	1.00	7.00	7.00	0.0800	0.56									
SUBTOTAL EQUIPOS :					9.15									
MANO DE OBRA														
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R									
INSPECTOR DE OBRA (EST. OCUP. B3)	1.00	4.55	4.55	0.0340	0.15									
OPERADOR PLANTA ASFÁLTICA (EST. OCUP. C1 G)	1.00	4.55	4.55	0.0340	0.15									
OPERADOR CARGADORA FRONTAL (EST. OCUP. C)	1.00	4.55	4.55	0.0340	0.15									
AYUDANTE. DE MAQUINARIA	4.00	4.16	16.64	0.0340	0.57									
PEÓN (EST. OCUP. E2)	4.00	4.05	16.20	0.0340	0.55									
SUBTOTAL MANO DE OBRA :					1.58									
MATERIALES														
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B										
ASFALTO AC-20 (SEGÚN ESPECIFICACIONES)	KG	149.63	0.34	50.87										
ARENA PARA ASFALTO	M3	0.35	9.00	3.15										
MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFALTICA 3/4"	M3	0.30	15.00	4.54										
MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFALTICA 3/8"	M3	0.30	15.00	4.54										
DIESEL	GLN	12.00	1.75	20.99										
VIDRIO	M3	0.0448	80.00	3.59										
PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO	M3	0.3496	0.00	-										
SUBTOTAL MATERIALES :					87.66									
TRANSPORTE														
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B										
SUBTOTAL TRANSPORTE :					0.00									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</td> <td style="text-align: right;">98.39</td> </tr> <tr> <td>INDIRECTOS Y UTILIDADES</td> <td style="text-align: right;">20.00% 19.68</td> </tr> <tr> <td>OTROS INDIRECTOS</td> <td style="text-align: right;">0.00% 0.00</td> </tr> <tr> <td>COSTO TOTAL DEL RUBRO</td> <td style="text-align: right;">118.07</td> </tr> <tr> <td>VALOR OFERTADO US\$:</td> <td style="text-align: right;">118.07</td> </tr> </table>					TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	98.39	INDIRECTOS Y UTILIDADES	20.00% 19.68	OTROS INDIRECTOS	0.00% 0.00	COSTO TOTAL DEL RUBRO	118.07	VALOR OFERTADO US\$:	118.07
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	98.39													
INDIRECTOS Y UTILIDADES	20.00% 19.68													
OTROS INDIRECTOS	0.00% 0.00													
COSTO TOTAL DEL RUBRO	118.07													
VALOR OFERTADO US\$:	118.07													

NOTA: LOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Autor: Jorge Fernández

6.11. Anexos fotográficos

OBTENCIÓN DE PLANCHAS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EN LA VÍA DE ESTUDIO	
Primer punto de extracción	
	
Registro de coordenadas del punto de extracción	Área marcada para el de corte de la muestra
	
Corte de la primera plancha de pavimento	Extracción la primera muestra
	
Hormigonado de la primera cavidad realizada en la vía	Muestra 1 extraída



Revestimiento de la superficie hormigonada con una capa de cemento asfáltico líquido, primer punto.

Segundo punto de extracción



Corte de la segunda muestra de RAP

Extracción de la segunda muestra de RAP



Segunda cavidad producto de la extracción

Hormigonado de la cavidad producto de la extracción



Cemento asfáltico utilizado para impermeabilizar las superficies hormigonadas



Revestimiento de la superficie hormigonada con una capa de cemento asfáltico líquido, segundo punto

Tercera extracción punto de extracción



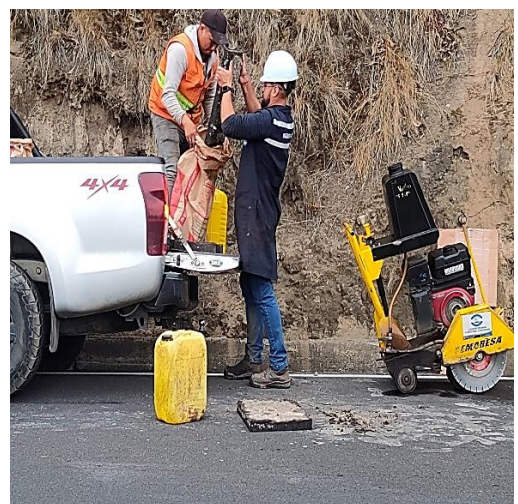
Área marcada para el de corte de la muestra



Corte de la segunda muestra



Espesor de la muestra extraída



Almacenamiento de las muestras



Hormigonado de la segunda cavidad realizada en la vía



Revestimiento de la superficie hormigonada con una capa de cemento asfáltico líquido, segundo punto

TRITURACIÓN DE LAS MUESTRA DE PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO



Colocación de las muestras en la trituradora



Recolección del pavimento asfáltico triturado



Almacenamiento del pavimento asfáltico en lonas con sus respectivas etiquetas
TRITURACIÓN DE BOTELLAS DE VIDRIO RECICLADAS



Lavado de botellas recicladas



Proceso de secado de las botellas recicladas



Trituración de las botellas recicladas

OBTENCIÓN DE PLANCHAS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EN LA VÍA DE ESTUDIO



Recolección de agregados pasantes del tamiz N°4



Recolección de agregados pasantes del tamiz N° 3/8"



Recolección de agregados pasantes del tamiz N° 3/4"






ENSAYO DE ABRASIÓN






Colocación de agregados en el equipo de



Ensayo realizado a los agregados

abrasión	pétreos
	
<p>Ensayo realizado al pavimento asfáltico reciclado</p>	<p>Ensayo realizado al vidrio</p>
	
<p>Tamizado del pavimento asfáltico ensayado</p>	
<p>ENSAYO DE GRANULOMETRÍA</p>	
	
<p>Granulometría del agregado pétreo</p>	<p>Colocación del vidrio triturado para tamizado mecánico</p>

	
<p>Tamizado mecánico del pavimento asfáltico reciclado</p>	<p>Fracciones obtenidas de pavimento asfáltico reciclado</p>
<p>ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA</p> <p>Agregado Fino</p>	
	
<p>Tamizado del agregado</p>	<p>Preparando el agregado para el cuarteo</p>
	
<p>Cuarteo del agregado</p>	<p>Pesaje del agregado para obtener la muestra de ensayo</p>



Secado del agregado mediante una corriente ligera de aire caliente



Determinación del estado del agregado utilizando el método del cono truncado



Preparación del picnómetro con la muestra de 500g



Eliminación de aire presente en la probeta con agua y muestra

ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS



Pesaje de la muestra a ensayar



Colocación de la muestra sobre una

	<p>superficie lista y limpia</p> 
<p>Selección de partículas fracturadas</p>	<p>Separación de partículas fracturadas, no fracturadas y con posibles fracturas</p>
<p>ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (RICE)</p>	
	
<p>Pesaje del Recipiente</p>	<p>Preparación de la muestra</p>
	
<p>Peso del recipiente con muestra</p>	<p>Colocación de la tapa del recipiente</p>



Preparación del equipo para empezar con el ensayo



Anotación de presiones



Inicio del ensayo



Pesaje del recipiente con muestra más agua hasta el límite de aforo

ENSAYO DE CENTRIFUGADO



Pesaje del plato o recipiente de



Colocación de la muestra ya pesada

centrifugado



Colocación de gasolina super

Colocación del filtro



Centrifugado del asfalto

Limpieza y retiro de la muestra centrifugada



Agitación de la alicuota

Determinación de 50 ml de alicuota



Pesaje de los 50 ml de alicuota con recipiente



Colocación de la alicuota después de haber sido secada en el horno de 110°C



Alicuota seca



Alicuota después de accionar la mufla a 550°C



Deseccación del fitro con miras a su pesaje ulterior



Deseccación de la muestra producto del centrifugado con miras a su pesaje ulterior

MÉTODO MARSHAL PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS BITUMINOSAS ASFÁLTICAS



Preparación de la mezcla asfáltica



Colocación y pesaje de la mezcla asfáltica para llevarla al horno durante 1 hora como mínimo



Compactación de la mezcla asfáltica



Extracción de la briqueta mediante el uso de la prensa



Briquetas con diferentes porcentajes de vidrio, pavimento asfáltico reciclado y AC-20



Toma de temperatura para pesos Bulk



Colocación de briquetas en el Baño María



Colocación de briquetas en las mordazas del equipo Marshall



Preparación del equipo Marshall para realizar el ensayo

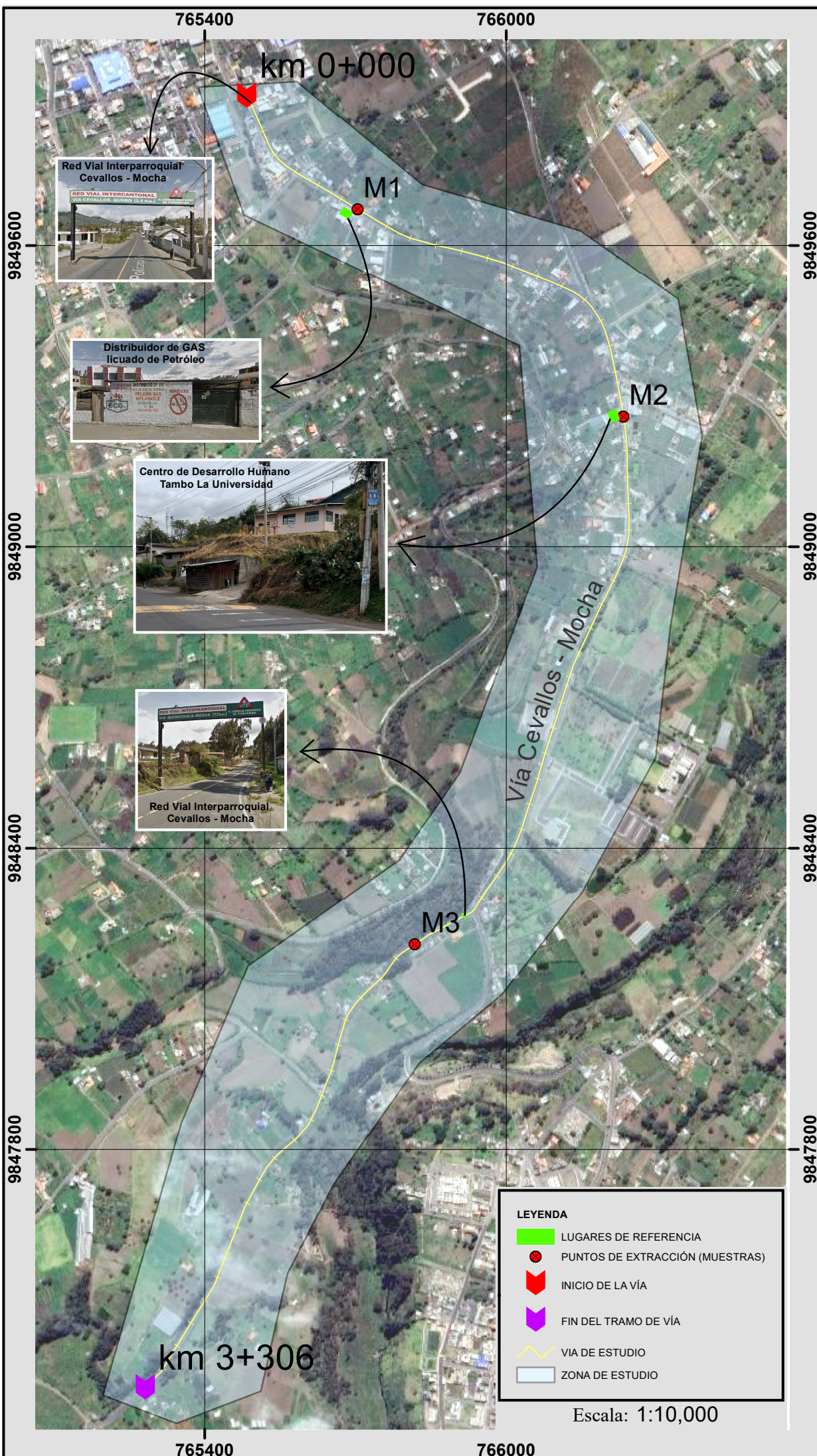
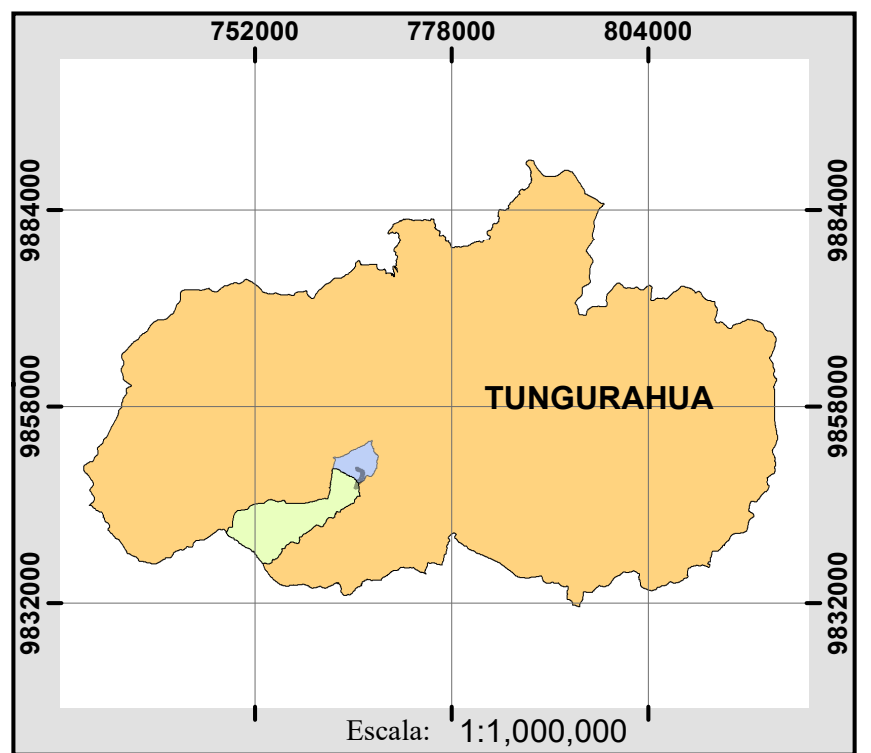
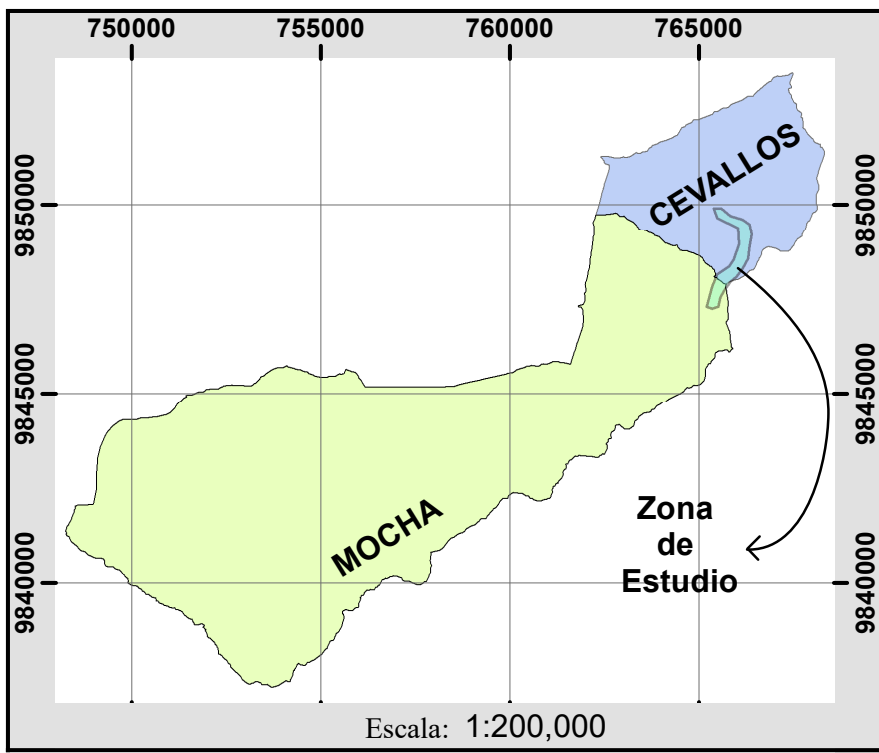


Accionamiento de cargas en el equipo Marshall



Resultados de estabilidad y flujo

6.12. Mapa de ubicación



DATOS ADICIONALES				
Código	Símbolo	Coordenada_X (m)	Coordenada_Y (m)	Elevación (m)
M 1		765704.6096	9849672.683	2886
M 2		766233.5304	9849259.602	2876
M 3		765818.5525	9848208.847	2923
Inicio de la vía (km 0+000)		765483.6292	9849900.728	2891
Fin de la vía (km 3+306)		765281.6758	9847327.558	2988
Distribuidora de Gas licuado de Petróleo		765683.1692	9849667.491	2889
Centro de Desarrollo Humano Tambo la Universidad		766219.0707	9849263.392	2883
Red Vial Interparroquial		765916.0924	9848264.994	2918

Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
Carrera de Ingeniería Civil




Proyecto: **Análisis del comportamiento del asfalto reciclado mezclado con vidrio de la vía Cevallos-Mocha en el tramo km 0+000 al km 3+306 de la provincia de Tungurahua**

Elaborado por: **Jorge Estuardo Fernández López**

Vía de estudio: **Cevallos - Mocha**

Provincia: **Tungurahua**

Fecha: **12/29/2023** Página: **1/1**