



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACION DEL PORCENTAJE DE PAVIMENTO
ASFALTICO RECICLADO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA
ASFALTICA RECICLADA EN CALIENTE, TRAMO PLATERIA -
ACORA 2022”**

TESIS

PRESENTADA POR:

FERNNY ELIZABETH YANAPA LAYME

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACION DEL PORCENTAJE DE PAV
IMENTO ASFALTICO RECICLADO PARA
EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA RECI
CL**

AUTOR

FERNNY ELIZABETH YANAPA LAYME

RECuento DE PALABRAS

21874 Words

RECuento DE CARACTERES

114847 Characters

RECuento DE PÁGINAS

147 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.8MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 24, 2024 9:53 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 24, 2024 9:55 AM GMT-5

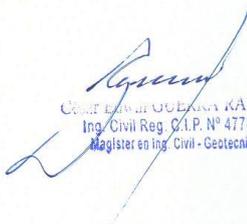
● 11% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos:

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


OSCAR EDUARDO OCHOA RAMOS
Ing. Civil Reg. C.I.P. N° 47789
Magister en Ing. Civil - Geotecnia


Ing. Emilio Casullo Aroni
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD/UNA N° 920514

Resumen



DEDICATORIA

Esta investigación se dedica a expresar mi reconocimiento y gratitud hacia mis padres Orlando Yanapa y Juana Layme en virtud de los sacrificios realizados, el esfuerzo constante y el respaldo inquebrantable que me han brindado para lograr mis objetivos y de manera muy especial a mi hermana Camila Yanapa por su comprensión, apoyo y complicidad.

Fernny Elizabeth Yanapa Layme



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por concederme la oportunidad de alcanzar esta meta en mi carrera profesional.

A mi madre por la confianza, apoyo y complicidad brindada durante toda mi vida para el logro de mis objetivos.

A mi padre por la confianza y el apoyo en estos años de estudio y haber contribuido en cumplir mis objetivos.

Agradecer a mi asesor de tesis Dr. Cesar Edwin Guerra Ramos por su tolerancia y consejos brindados, durante el proceso de planteamiento y ejecución de la presente investigación.

Fernny Elizabeth Yanapa Layme.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	18
ABSTRACT.....	19
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.2.1. Problema general.....	21
1.2.2. Problemas específicos	21
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.3.1. Hipótesis general	21
1.3.2. Hipótesis específicas	21
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	22
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.5.1. Objetivo general	22
1.5.2. Objetivos específicos	22

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA



2.1.	ANTECEDENTES	24
2.1.1.	Antecedentes Internacionales	24
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	25
2.1.3.	Antecedentes locales	28
2.2.	MARCO TEÓRICO	29
2.2.1.	Pavimento.....	29
2.2.2.	Roles desempeñados por las capas.....	31
2.2.3.	Tipos de pavimentos	32
2.2.4.	Estructuración de un pavimento asfáltico en caliente	33
2.2.5.	Composición de la capa asfáltica en caliente	34
2.2.6.	Proceso de envejecimiento:.....	36
2.2.7.	Elementos que influyen en la durabilidad del pavimento	38
2.2.8.	Reciclaje de pavimento	39
2.2.8.1.	Proceso de reciclado.....	40
2.2.8.2.	Reciclado in-situ	42
2.2.8.3.	Reciclado en planta	43
2.2.9.	Aplicaciones de reciclado de pavimento flexible.....	44
2.2.10.	Beneficios del reciclado	45
2.2.10.1.	Beneficios ambientales	45
2.2.10.2.	Beneficios económicos	45
2.2.11.	Parámetros del diseño de mezcla	46
2.2.12.	Diseño del pavimento asfáltico en caliente – Método Marshall	47
2.2.12.1.	Agregados minerales gruesos:	47
2.2.12.2.	Agregados minerales finos:.....	48
2.2.12.3.	Gradación:	48



2.2.12.4. Filler:	49
2.2.12.5. Parámetros de diseño de mezclas	49

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.1.1. Tipo de investigación	50
3.1.2. Nivel de la investigación	50
3.1.3. Diseño de la investigación	50
3.1.4. Ubicación geográfica del estudio	51
3.1.5. Descripción del tramo Platería – Acora	51
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	54
3.2.1. Población.....	54
3.2.2. Muestra	54
3.2.3. Agregados de aportación.....	57
3.2.4. Toma de muestras de la subrasante	59
3.3. ENSAYOS A LA MUESTRA DE LA SUBRASANTE	60
3.3.1. Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107	60
3.3.2. Proctor modificado MTC E 115.....	63
3.3.3. California bearing ratio MTC E 132	66
3.4. ENSAYOS A LA MUESTRA ASFALTICA RECICLADA.....	69
3.4.1. Homogenización y toma de muestra representativa.....	69
3.4.2. Extracción cuantitativa del asfalto – MTC E 502	70
3.5. ENSAYOS PARA LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MAC-1 ..	73
3.5.1. Granulometría del material reciclado.....	73
3.5.2. Porcentaje de partículas chatas y alargadas MTC E 223	77



3.5.3.	Porcentaje de partículas fracturadas MTC E 210.....	79
3.5.4.	Abrasión los ángeles MTC 207.....	82
3.5.5.	Absorción de los agregados gruesos MTC E 206.....	86
3.5.6.	Equivalente de arena MTC 114.....	89
3.5.7.	Angularidad del agregado fino MTC E 222.....	93
3.5.8.	Azul metileno AASTHO TP 57.....	95
3.5.9.	Sales solubles totales MTC E 219.....	97
3.5.10.	Absorción de los agregados finos-MTC E 205.....	99
3.6.	ENSAYOS A LAS BRIQUETAS DE ASFALTO.....	102
3.6.1.	Preparación de las briquetas MTC 504.....	102
3.6.2.	Peso específico Bulk para mezclas asfálticas densas – MTC 514.....	109
3.6.3.	Peso específico teórico máximo MTC E 508.....	111
3.7.	ENSAYO MARSHALL MTC 504.....	113

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	RESULTADOS DE LOS AGREGADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO.....	115
4.2.	RESULTADOS DEL PAVIMENTO ASFALTICO RECICLADO.....	116
4.3.	RESULTADOS DE LA MEZCLA ASFALTICA PATRON.....	118
4.4.	RESULTADOS DE LA MEZCLA ASFALTICA RECICLADA.....	120
4.4.1.	Diseño con 40% de pavimento reciclado.....	120
4.4.2.	Diseño con 50% de pavimento reciclado.....	122
4.4.3.	Diseño con 60% de pavimento reciclado.....	125
4.5.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESTADÍSTICA.....	128
4.5.1.	Prueba de normalidad – Pavimento Reciclado.....	129



4.5.1.1. Hipótesis General.....	129
4.5.1.2. Hipótesis Especifico 1.....	129
4.5.1.3. Hipótesis Especifico 2.....	130
4.5.1.4. Hipótesis Especifico 3.....	130
4.5.2. Correlación de Pearson – Pavimento Reciclado	130
4.5.2.1. Pearson - Hipótesis General.....	130
4.5.2.2. Pearson – Hipótesis especifica 1	131
4.5.2.3. Pearson - Hipótesis especifica 2.....	131
4.5.2.4. Pearson – Hipótesis especifica 3	131
4.6. DISCUSIÓN	132
4.6.1. Interpretación de los resultados de la subrasante	132
4.6.2. Interpretación del diseño de mezcla convencional.....	132
4.6.3. Interpretación del diseño de mezcla asfáltica reciclada	133
4.6.4. Comparación de costos	137
V. CONCLUSIONES.....	139
VI. RECOMENDACIONES	141
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	142
ANEXOS.....	145

ÁREA: Transportes

TEMA: Pavimentos reciclados

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Transportes y gestion vial

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 30 de enero 2024



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Requisitos para la mezcla bituminosa en caliente.....	35
Tabla 2	Categorización de los cementos bituminosos	36
Tabla 3	Criterios necesarios para los agregados gruesos	47
Tabla 4	Criterios para los agregados finos.....	48
Tabla 5	Gradación de MAC	49
Tabla 6	Condición del pavimento flexible	52
Tabla 7	Granulometría de la subrasante.....	62
Tabla 8	Densidad seca.....	65
Tabla 9	Resultados del contenido de humedad	65
Tabla 10	Cantidad de muestra a ensayar.....	71
Tabla 11	Porcentaje de asfalto del pavimento reciclado.....	73
Tabla 12	Granulometría del pavimento reciclado.....	75
Tabla 13	Granulometría del agregado nuevo	76
Tabla 14	Porcentaje de agregados chatas y alargadas del pavimento reciclado	78
Tabla 15	Porcentaje de agregados chatas y alargadas del material nuevo.....	79
Tabla 16	Partículas fracturadas del pavimento reciclado (dos a más caras).....	80
Tabla 17	Partículas fracturadas del pavimento reciclado (una o más caras)	81
Tabla 18	Partículas fracturadas del material nuevo (dos o más caras)	81
Tabla 19	Partículas fracturadas del material nuevo (una o más caras).....	81
Tabla 20	Gradación para muestra de ensayo	83
Tabla 21	Porcentaje de desgaste del agregado reciclado	85
Tabla 22	Resultados de abrasión de los ángeles del agregado de aportación	85
Tabla 23	Peso mínimo para el ensayo de absorción	87
Tabla 24	Equivalente de arena	92



Tabla 25	Datos absorción.....	101
Tabla 26	Granulometría-mezcla patrón	105
Tabla 27	Granulometría compuesta por 40% de reciclado y 60% agregado nuevo .	106
Tabla 28	Granulometría compuesta por 50% de reciclado y 50% agregado nuevo .	107
Tabla 29	Granulometría compuesta por 60% de reciclado y 40% agregado nuevo .	108
Tabla 30	Cuadro de resultados vs requerimientos de los agregados.....	115
Tabla 31	Porcentaje de asfalto del pavimento reciclado.....	116
Tabla 32	Granulometría del pavimento reciclado.....	116
Tabla 33	Resultados de la mezcla patrón.....	118
Tabla 34	Resultados del agregado nuevo más 40% de reciclado	120
Tabla 35	Resultados del agregado nuevo más mezcla reciclada en 50%	122
Tabla 36	Granulometría compuesta por 60% de reciclado, 40% agregado nuevo ...	125
Tabla 37	Resultados del agregado nuevo más mezcla reciclada en 60%	126
Tabla 38	Normalidad-hipótesis general	129
Tabla 39	Normalidad-hipótesis especifica 1	129
Tabla 40	Normalidad-hipótesis especifica 2	130
Tabla 41	Normalidad-hipótesis especifica 3.....	130
Tabla 42	Pearson-hipótesis general.....	130
Tabla 43	Pearson-hipótesis especifica 1	131
Tabla 44	Pearson-hipótesis especifica 2	131
Tabla 45	Pearson-hipótesis especifica 3	131
Tabla 46	Resumen del diseño de mezcla asfáltica convencional.....	132
Tabla 47	Resumen de la mezcla asfáltica reciclada.....	133
Tabla 48	Evaluación del costo de una mezcla tradicional	137
Tabla 49	Evaluación de los costos al 40% de material reciclado.	137



Tabla 50 Evaluación de los costos al 50% de material reciclado. 138



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Función del pavimento.....	30
Figura 2	Sección transversal de una estructura de pavimento asfáltico	33
Figura 3	Rodillo de fresadora integrado en cuerpo de recicladora de asfalto	41
Figura 4	Reciclaje de asfalto mediante traslado de materiales hasta planta procesadora	44
Figura 5	Ciclo de fresado de pavimento.....	45
Figura 6	Ubicación geográfica Platería-Acora	51
Figura 7	Hundimiento severo KM 1391+000	53
Figura 8	Ahuellamiento severo KM 1388+100.....	53
Figura 9	Puntos de la muestra del material reciclado.....	55
Figura 10	Punto N°4: Km 1387+600	56
Figura 11	Punto N°5: Km 1387+750	56
Figura 12	Punto 6: Km 1387+900	57
Figura 13	Cantera Covas	58
Figura 14	Arena chancada.....	58
Figura 15	Piedra chancada	59
Figura 16	Obtención de la muestra de subrasante	60
Figura 17	Cuarteo de la muestra de la subrasante	61
Figura 18	Granulometría de la subrasante.....	62
Figura 19	Preparado de muestra a diferentes porcentajes de agua.....	64
Figura 20	Apisonado de la muestra.....	64
Figura 21	Curva de contenido de humedad óptimo vs densidad seca.....	66
Figura 22	Moldes de CBR compactados	67
Figura 23	Retirado de los moldes de CBR del pozo de agua	68



Figura 24	Relación CBR-densidad seca.....	68
Figura 25	Homogenización de la muestra reciclada	70
Figura 26	Cuarteo del material reciclado	72
Figura 27	Extracción cuantitativa del asfalto	72
Figura 28	Agregado obtenido del pavimento reciclado	73
Figura 29	Granulometría del pavimento asfáltico reciclado	74
Figura 30	Análisis granulométrico del pavimento reciclado.....	75
Figura 31	Análisis granulométrico del agregado nuevo.....	76
Figura 32	Ensayo de agregados chatos y alargados	78
Figura 33	Porcentaje de partículas fracturadas.....	80
Figura 34	Ensayo de abrasión de los ángeles	84
Figura 35	Resultado del ensayo de abrasión de los ángeles del agregado de aportación	84
Figura 36	Secado superficial del agregado grueso	88
Figura 37	Medición de la temperatura	88
Figura 38	Ensayo de equivalente de arena	91
Figura 39	Agitado manual.....	91
Figura 40	Lectura de la altura de la arena	92
Figura 41	Muestra del agregado fino	94
Figura 42	Vertido de la arena en el embudo	94
Figura 43	Mezclado del azul metileno, muestra y agua destilada.....	96
Figura 44	Resultado del ensayo de azul metileno	96
Figura 45	Decantado del líquido	98
Figura 46	Pesado de las sales retenidas.....	98
Figura 47	Levantado del molde cónico	100



Figura 48	Introducción del agregado fino más agua a 25°C	101
Figura 49	Vertido de los agregados y asfalto al recipiente	103
Figura 50	Vertido de la mezcla de asfalto en el molde	104
Figura 51	Sistema lineal de ecuaciones.....	104
Figura 52	Gradación MAC 1 – mezcla patrón	106
Figura 53	Gradación MAC 1- 40% reciclado	107
Figura 54	Gradación MAC 1- 50% reciclado	108
Figura 55	Gradación MAC 1- 60% reciclado	109
Figura 56	Medidas y pesado de las briquetas.....	110
Figura 57	Peso específico Bulk	111
Figura 58	Ensayo Bulk	112
Figura 59	Pesado del picnómetro más la briqueta cubierta de agua	113
Figura 60	Ensayo Marshall.....	114
Figura 61	Análisis granulométrico del pavimento reciclado.....	117
Figura 62	Gráfico de estabilidad	119
Figura 63	Gráfico de fluencia -mezcla patron.....	119
Figura 64	Gráfico del % de vacíos-mezcla patrón	120
Figura 65	Estabilidad con 40% de reciclado	121
Figura 66	Fluencia con 40% de reciclado	121
Figura 67	Porcentaje de vacíos con 40% reciclado.....	122
Figura 68	Estabilidad con 50% reciclado.....	123
Figura 69	Fluencia con 50% reciclado	124
Figura 70	Porcentaje de vacíos con 50% reciclado.....	124
Figura 71	Gradación mac-1 con 60% reciclado	125
Figura 72	Estabilidad con 60% reciclado.....	127



Figura 73	Fluencia con 60% reciclado	127
Figura 74	Porcentaje de vacíos con 60% reciclado	128
Figura 75	Estabilidad de la mezcla reciclada	134
Figura 76	Fluencia de la mezcla reciclada	135
Figura 77	Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica reciclada	136



ACRÓNIMOS

MAC:	Mezcla asfáltica en caliente.
PEN 120-150:	Cemento asfáltico 120-150.
C.A.:	Cemento asfáltico
C.B.R.:	Índice de soporte de california
EG-2013:	Especificaciones técnicas generales para la construcción, 2013.



RESUMEN

En el Sistema Nacional de Carreteras PE-3S, específicamente en el tramo Platería-Acora, que integra la zona sur del Departamento de Puno, viene presentándose fallas y deterioros en la plataforma superficial de esta vía, generando problemas de confort y seguridad en los usuarios, hecho que me llevo a realizar la investigación sobre la reparación de esta vía utilizando el reciclado como técnica para carreteras asfaltadas. Este tipo de investigación utiliza un enfoque cuantitativo a nivel explicativo; siendo la muestra no probabilística, con una población de 5 km, habiéndose realizado 7 puntos de exploración y muestreo en el tramo más crítico, ubicado entre los kilómetros 1387+000 al 1388+050. Para la realización de esta investigación se ha utilizado porcentajes de 40%, 50% y 60% de la muestra de pavimento asfáltico extraído, en la mezcla bituminosa en caliente recién instalada utilizando el diseño Marshall, la cual tiene la denominación de mezcla asfáltica reciclada. Del trabajo se concluye que los porcentajes de 40% y 50% empleados, satisface los parámetros de la mezcla asfáltica reciclada en caliente; que representa el precio de s/.213.05 y s/.229.57 por m³ para porcentajes de 50% y 40% respectivamente a diferencia de una mezcla nueva cuyo costo unitario por m³ es de s/. 429.75.

Palabras Claves: Ensayo Marshall, Pavimento asfáltico, Reciclado.



ABSTRACT

In the National System of Highways PE-3S, specifically in the section Platería-Acora, that integrates the south zone of the Department of Puno, failures and deteriorations in the superficial platform of this road, generating problems of comfort and security in the users, fact that took me to carry out the investigation on the repair of this road using the recycling like technique for asphalted highways. This type of research uses a quantitative approach at an explanatory level; the sample is non-probabilistic, with a population of 5 km, having carried out 7 exploration and sampling points in the most critical section, located between kilometers 1387+000 to 1388+050. To carry out this research, percentages of 40%, 50% and 60% of the asphalt pavement sample extracted were used in the hot bituminous mix recently installed using the Marshall design, which has the denomination of recycled asphalt mix. It is concluded from the work that the percentages of 40% and 50% used satisfy the parameters of the hot recycled asphalt mix, which represents a price of s/. 213.05 and s/. 229.57 per m³ for percentages of 50% and 40% respectively, as opposed to a new mix whose unit cost per m³ is s/. 429.75 per m³.

Keywords: Marshall test, Asphalt pavement, Recycled.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente las carreteras desempeñan un papel de suma importancia al impulsar el progreso social y económico en las regiones del Perú estableciendo vínculos entre distintas regiones. Por consiguiente, es crucial que estas carreteras mantengan un estado óptimo para garantizar un transporte departamental, provincial y distrital eficiente y seguro (Canchaco, 2021).

La presente investigación nace debido a la presencia de irregularidades tales como: 61.29 % de piel de cocodrilo, 3.64 % de corrugación, 2.99% de grieta de borde, 6.35% de desnivel carril/berma, 3.17 grieta longitudinal y transversal, 0.23% de parcheo, 4.05 de ahuellamiento, 5.68% desprendimiento de agregados, 0.05% de abultamientos y hundimientos (Canchaco, 2021), esto hace que sea menos capaz de cumplir su mandato de ofrecer a los conductores comodidad, confort y seguridad. Por lo que se requiere un mantenimiento de la vía debido a su mal estado.

Por ende, se plantea la evaluación de diferentes proporciones de la capa asfáltica reciclada, específicamente al 40%, 50% y 60%, con el objetivo de diseñar una mezcla asfáltica reciclada en caliente. Con el uso de la técnica Marshall, este diseño pretende rectificar la gradación del material preexistente y la composición del asfalto. Con el fin de asegurar que la estabilidad, fluencia y vacíos cumplan con los parámetros necesarios para el diseño de una mezcla bituminosas en caliente, y lograr mejorar de condición del tramo Platería-Acora; además, nos proporciona beneficios económicos, tiempo y un



enfoque sostenible dándole una segunda vida útil al pavimento envejecido para la conservación de las carreteras.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál el porcentaje de pavimento asfáltico reciclado en el diseño de mezcla asfáltica reciclada en caliente?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades del pavimento asfáltico reciclado?
- ¿Cuáles son los hallazgos obtenidos en laboratorio de la mezcla asfáltica reciclada y una tradicional?
- ¿Cuál es la evaluación de los costos asociados a una mezcla asfáltica tradicional versus una mezcla asfáltica reciclada?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

El porcentaje total de pavimento asfáltico reciclado será mayor al 40% en el diseño de mezcla asfáltica reciclada en caliente.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Las características físico-mecánicas de la capa asfáltica reciclada son adecuadas para un nuevo diseño de mezcla asfáltica en caliente.
- La mezcla asfáltica reciclada tiene parámetros similares al tradicional.
- La mezcla asfáltica tradicional tendrá un costo superior a la mezcla asfáltica reciclada.



1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Este estudio es de gran relevancia debido al creciente enfoque de conciencia ambiental, la práctica de reciclar pavimentos asfálticos contribuye de manera significativa a la reducción en la solicitud de recursos naturales y la generación de desechos. Este estudio adopta un enfoque sostenible al evaluar y optimizar la cantidad de capa asfáltica reciclada, la incorporación de pavimento asfáltico reciclado puede generar ahorros significativos en los precios asociados con la construcción y el mantenimiento de carreteras.

En resumen, la investigación sobre la evaluación del % de capa de asfalto reciclado del diseño de la mezcla asfáltica reciclada, es relevante y oportuna que aborda cuestiones de sostenibilidad, eficiencia económica, desarrollo local y calidad de la infraestructura vial. Esta tesis tiene el potencial de generar beneficios significativos tanto a nivel ambiental como económico, y puede contribuir al avance de la ingeniería vial en la región.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el porcentaje del pavimento asfáltico reciclado para el diseño de mezcla asfáltica reciclada en caliente.

1.5.2. Objetivos específicos

- Verificar si las propiedades del pavimento asfáltico reciclado satisfacen los criterios establecidos para la formulación de una mezcla bituminosa en caliente.



- Evaluar las características mecánicas tanto de la mezcla bituminosa reciclada como de la mezcla asfáltica tradicional.
- Comparar el análisis de costos unitarios entre la mezcla asfáltica reciclada y una mezcla asfáltica tradicional.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Xinman; Cao et al. (2022) en su artículo evalúan el rendimiento de un aglomerado asfáltico reciclado con diferentes porcentajes de pavimento asfáltico recuperado (RAP). En primer lugar, se determinaron las características y variabilidades de los materiales de RAP. Se llevaron a cabo tres etapas de descomposición en los materiales de RAP, generando una combinación de áridos de piedra recuperados con bajos niveles de asfalto y una cantidad significativa de arena de mortero enriquecida con asfalto como resultado. Posteriormente, empleó la técnica del diseño Marshall para establecer el contenido de asfalto óptimo de la granulometría de los áridos de diseño, procedió a evaluar en laboratorio el desempeño en condiciones de elevada temperatura, la capacidad de resistencia a la fractura en condiciones de temperaturas bajas, la susceptibilidad a la humedad y el módulo dinámico de las mezclas de asfalto reciclado con distintos niveles de RAP. Este suceso mostro que la prueba de módulo dinámico, la mezcla de asfalto reciclado con mayores porcentajes de RAP (más del 40%) era adecuada para su uso como mezcla asfáltica de alto módulo en el futuro. Por último, se desarrolló un modelo de predicción empírica del módulo dinámico para las mezclas asfálticas recicladas.

Restrepo y Stephens (2015), menciona en su monografía que los objetivos del procedimiento de mantenimiento y recuperación de vías deben establecerse, ya sea para realizar una operación sobre la vía para devolverla a sus características



originales de diseño. Su estudio se centra en el análisis técnico-económico de la carretera Sopetrán-Puente, con una distancia de 13 km que fue rehabilitada mediante la técnica "in situ" en frío. El análisis se realizó confirmando el cumplimiento de los criterios del IDU ET-2005. La conclusión es que la reconstrucción a través del reciclado in situ en frío resulta ser una alternativa más económica, respetuosa con el medio ambiente y técnicamente avanzada. Esta metodología posibilita la recuperación de las condiciones originales de diseño del pavimento intervenido mediante la incorporación de un agente estabilizador, en este caso, cemento.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Crispín y Helguero (2019), investigaron el aumento de resistencia para base granular convencional mediante la incorporación de cemento y el reciclaje de la capa bituminosa sobre el plan de construcción y restauración de la carretera de la Av. Separadora Industrial, Lima. Realizaron una comparación en términos funcionales, estructurales, de costos y de tiempos de ejecución entre un pavimento con base granular tradicional y otro con base mejorada mediante porcentajes de cemento Portland tipo I y RAP determinados en laboratorio. Los resultados evidenciaron una reducción significativa tanto en los costos como en el tiempo de ejecución, lo que mejoró la integridad estructural del pavimento y generó beneficios sociales.

Valenzuela (2020), se enfocó en abordar la siguiente pregunta general en su investigación: ¿Cómo se puede diseñar un pavimento con mezcla reciclada para maximizar el ahorro? El objetivo principal del diseño de la capa asfáltica con mezcla reciclada era reutilizar los materiales y reducir los costos. Con su hipótesis "al diseñar pavimentos con mezcla reciclada, se reutilizarán los materiales



utilizados y se reducirán los costos”, realizó una investigación de índole aplicada, descriptivo-explicativo, utilizando un enfoque experimental. El distrito de Carabaylo en la provincia de Lima fue la población de estudio, y la calle José Pardo se seleccionó de manera intencional o no aleatoria para el muestreo entre todas las vías de pavimento flexible en esa zona. La conclusión de este estudio indicó que todos los materiales utilizados fueron reutilizados al diseñar el pavimento con mezcla reciclada, logrando una disminución en los costos.

Rengifo y Vargas (2017), evidenciaron la viabilidad técnica y financiera del uso de la capa flexible reutilizado como opción tecnológica para las iniciativas de reconstrucción vial de Lima, el objetivo principal de la investigación, se centró en examinar las propiedades físicas más relevantes del antiguo pavimento de la Av. La Paz; la combinación de estas características con el nuevo pavimento podría haber permitido reducir en un 40% la cantidad de agregado pétreo necesario para mejorar la superficie asfáltica de la avenida.

Chuman (2017), su estudio se basó en los resultados del porcentaje de pavimento viejo, cemento asfáltico 85/100, la estabilidad y el flujo, y la gradación de agregados con el fin de determinar el período de recolección a mediados de 2014 y 2015. La mezcla asfáltica nueva se enriqueció con residuos del antiguo pavimento flexible en proporciones del 15%, 20% y 25% de pavimento reciclado en la nueva formulación. Se llegó a la conclusión de que el material reciclado exhibe una estabilidad superior en comparación con el material nuevo, atribuible a un mayor peso unitario (2,335.00 Kg/m frente a 2,310 Kg/m), proporcionando así mayor resistencia. Además, el flujo, que incide en la proporción de ligante consumido por la mezcla asfáltica, reveló una rigidez de 2.823,40 Kg/cm en esta investigación, en contraste con los 1.050 Kg/cm del componente nuevo. En



consecuencia, la utilización de materiales reciclados para la conservación de carreteras y la elaboración de pavimentos flexibles, mediante el establecimiento de una planta de procesamiento de mezclas de asfalto a alta temperatura, lo que se traduce en la reducción de costes, la disminución de la contaminación del entorno y la preservación de las áreas de extracción del material.

Paiva y Ramos (2014), en su tesis menciona que el reciclado de pavimento asfáltico que reduce el uso de áridos naturales, asfalto y recursos no renovables y evita la creación de residuos y la ocupación de vertederos, el reciclar de firmes es una alternativa más rentable y respetuosa con el entorno para la rehabilitación de firmes. La tesis se centra en desarrollar una prueba piloto utilizando la capa envejecida que se encuentra en funcionamiento con el propósito de desarrollar un betún de mezcla a altas temperaturas con altos niveles de reciclabilidad y un rendimiento comparable o mejor que el hormigón de mezcla en caliente tradicional, se evaluaron los resultados para tráfico moderado, ligero y considerable. Llegó a la conclusión de que una mezcla de asfalto reciclado debe tener las siguientes proporciones: 50% de MBR, 44.5% de áridos y 5.5% de contenido óptimo de asfalto ligero. Esto permite desarrollar mezclas asfálticas capaces de resistir tráfico ligero a medio, utilizando porcentajes elevados de material bituminoso reciclado (entre el 50% y el 60%), preservando las cualidades mecánicas de una mezcla convencional. De este modo, los diseños de mezclas asfálticas pueden adaptarse a cargas de tráfico bajo a medio, preservando resultados similares a la mezcla tradicional.

Balbin y Chochon (2019), en su tesis menciona que la reutilización de pavimentos antiguos y deteriorados es una forma rentable de crear nuevos pavimentos, pero además de los beneficios económicos, es importante comprobar



si el comportamiento mecánico del pavimento satisface los criterios modernos. El propósito de este estudio es formular una combinación de materiales asfálticos envejecidos y material nuevo para regenerar el rendimiento mecánico de la capa asfáltica del tramo de la vía de Canta a Huayllay, ubicado entre los kilómetros 90+000 y 95+000, correspondiente al año 2019; concluye que la proporción de huecos, la estabilidad, el flujo o la deformación -factores que afectan a la reutilización del pavimento- se determinaron a partir de los datos recogidos. En resumen, creó un nuevo pavimento que cumple las normas establecidas para los pavimentos tradicionales. Para mejorar el comportamiento mecánico de este material reciclado (lo que sugiere una mejora de su rigidez a la deformación y de su estabilidad) se añadieron más áridos.

2.1.3. Antecedentes locales

Gonzales (2017) en su estudio, se centró en el reciclaje y la reutilización de materiales, centrándose en la utilización de estos para mejorar las propiedades de la capa de base y subbase tras la adición de material de cantera con granulometrías específicas para mejorar las propiedades mecánicas. Asimismo, señala que las losas recicladas de los pavimentos rígidos son propicias para la obtención de áridos reciclados, que, combinados con áridos naturales, pueden emplearse en la producción de concreto con las resistencias requeridas. El objetivo principal de su estudio fue evaluar el desempeño mecánico incorporando materiales reciclados en el pavimento. Concluye que, al sustituir más del 10% de los áridos por reciclados, se observa una disminución en la resistencia del concreto. Se logró desarrollar un concreto con una capacidad para soportar cargas bajo compresión de $f'c=205 \text{ kg/cm}^2$, compuesto por un 70% de árido grueso natural y un 30% de árido grueso reciclado.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Pavimento

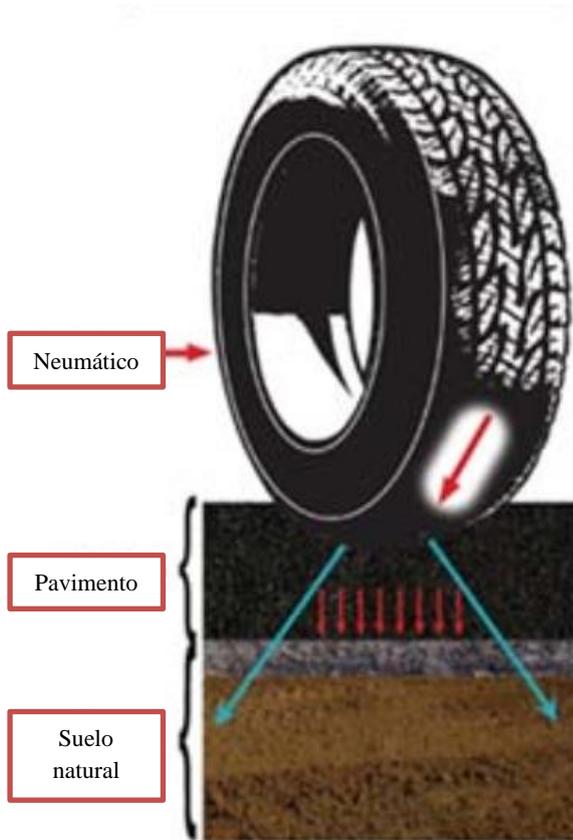
El pavimento se compone de estratos de material meticulosamente elegidos que absorben de manera inmediata las cargas generadas por el tráfico, distribuyéndolas hacia capas inferiores y creando así una superficie de soporte efectiva. Para garantizar su correcto funcionamiento, el pavimento debe cumplir con requisitos específicos que incluyen, resistencia adecuada a la carga, adherencia adecuada entre el vehículo y la superficie de la carretera, especialmente en situaciones de lluvia para evitar fallos y fracturas, y una alineación horizontal, vertical y la anchura adecuada. Debería ser capaz de resistir los impactos perjudiciales del agua, la intemperie y el tráfico. Para evitar el cansancio, debe tener buena visibilidad y un paisaje agradable (Rodríguez y Molina, 2004)

La resistencia de las capas individuales estará sujeta al método de construcción y al tipo de material utilizado en cada capa. La compactación y la presencia de humedad son dos factores esenciales, ya que un material mal acomodado tiende a consolidarse bajo la influencia de las cargas, provocando deformaciones permanentes (pág. 43).

Según Tapia (2016), un firme es un sistema formado por varios materiales dispuestos, con espesores y calidades variables, que se colocan sobre una capa denominada "subrasante" y se apoyan en ella. Tal como se indica en la Figura 1, objetivo del sistema es recoger inmediatamente las cargas del tráfico y entregarlas de forma dispersa y uniforme a las capas situadas por debajo.

Figura 1

Función del pavimento



Nota: Pavimentos UNAM

La experiencia ha demostrado que incluso cuando un pavimento se construye con los mejores materiales y con el mayor control de calidad, incluida una capa de subrasante bien formada, puede fallar debido a la inestabilidad del movimiento de terraplén. La subbase, la base y el ligante constituyen la parte estructural del pavimento, que está formada por el suelo natural, el cuerpo del terraplén, la capa de subrasante y otras capas. (Tapia, 2016).

De acuerdo al (MTC, suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2013), el pavimento, en términos generales, constituye un elemento estructural que típicamente incluye la base, la capa de rodadura y la subbase, dispuestas sobre la subrasante. La configuración del pavimento está concebida para resistir las



condiciones ambientales, absorber las cargas superficiales y transferirlas de manera disipada a las capas inferiores. Además, se espera que proporcione comodidad para el tránsito vehicular. En general, su estructura suele comprender los siguientes niveles:

- **Capa de Rodadura:** “Superficie de la estructura, que sirve de apoyo directo al tráfico, puede ser de adoquines, bituminosa (flexible) u hormigón duro de cemento Portland” (suelos, geología, geotecnia y pavimentos, 2013).
- **Base:** Su misión primordial es contribuir a la distribución y transmisión de las cargas relacionadas con el tráfico. Esta capa está por debajo de la calzada. Para esta capa se necesita un producto granulado drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o un tratamiento de cemento, asfalto o cal.
- **Subbase:** Es una de las capas que soporta la base y el ligante y tiene una composición y espesor específicos. Regula el flujo capilar del agua, esta capa puede omitirse, en función del tamaño, forma y diseño del pavimento. Esta capa puede estar constituida por betún asfáltico, por cal o por cemento, o por material granulado ($\text{CBR} \geq 40\%$).

2.2.2. Roles desempeñados por las capas

Ofrecer una superficie de rodadura duradera y segura, que pueda soportar las cargas frecuentes del tráfico a lo largo del tiempo de diseño.

Distribuir las presiones verticales generadas por los vehículos de manera que solo un pequeño porcentaje de estas llegue a la capa de subrasante, permitiéndole así soportar el tráfico proyectado durante el periodo de diseño.

La integridad de la estructura debe ser apta para resistir las condiciones climáticas locales, especialmente las influencias adversas del agua y las variaciones de temperatura.



Adicionalmente, el pavimento debe poseer una serie de atributos tanto estructurales como funcionales. Las características estructurales están más orientadas a satisfacer las necesidades de quienes se encargan de la gestión y el mantenimiento de los pavimentos, mientras que las características funcionales se relacionan con la superficie de rodadura y ejercen una mayor influencia en la experiencia de los usuarios. (Tapia, 2016)

2.2.3. Tipos de pavimentos

De acuerdo con el Manual de Carreteras (2013), indica la siguiente clasificación:

- Pavimentos Rígidos: “Este modelo de pavimento se basa en una superficie de subbase que suele estabilizarse con cemento o asfalto. También tiene una superficie de rodadura formada por bloques de hormigón de cemento con aditivos, aglutinantes y áridos añadidos según sea necesario” (Manual de carreteras, 2013)
- Pavimentos Semirrígidos: “El pavimento semirrígido se refiere a una construcción compuesta de asfalto sobre una base tratada con asfalto. El pavimento semirrígido también se refiere a una construcción compuesta de asfalto sobre una cimentación que ha sido tratada con cal o cemento. Un tipo de pavimento semirrígido es el adoquinado” (Manual de carreteras, 2013)
- Pavimentos Flexibles: “El ligante bituminoso, que comprende ligantes, áridos y aditivos en algunos casos, constituye la superficie de rodadura del firme flexibles. Las capas de base y subbase constituirán la infraestructura multigranular del firme flexible. El primer factor a tener en cuenta son las capas de rodadura asfálticas, que pueden presentarse en forma de mezcla asfáltica en caliente o en frío, de recubrimiento bicapa, de mortero bituminoso

o de micro pavimento sobre las capas granulares anteriormente descritas”
(Manual de carreteras, 2013)

2.2.4. Estructuración de un pavimento asfáltico en caliente

De acuerdo con Rodriguez y Rodriguez (2004), “El firme flexible es más barato de construir inicialmente y tiene una vida útil de 10-15 años, pero presenta el inconveniente de que requiere un mantenimiento constante para cumplir su ciclo de servicio” (p. 18).

Figura 2

Sección transversal de una estructura de pavimento asfáltico



Fuente: Giodani, C y Leone, D. (s.f). Catedra Ingeniería Civil

El pavimento flexible está conformado por:

a. Capa Asfáltica

La capa asfáltica se sitúa encima de un pavimento flexible que proporciona
(Valenzuela, 2020, pág. 24):

- Superficie de rodamiento adecuada para el tránsito de vehículos.
- Evita que el agua se filtre en las capas más profundas, la humedad excesiva debilita su capacidad portante lo que provoca fallas estructurales.



- Resistir los efectos nocivos de los agentes climáticos y la degradación provocada por el tránsito de vehículos.

b. Base

Es la capa que sustenta la carga más significativa producida por los vehículos en movimiento. Para proporcionar un soporte adecuado a la capa asfáltica, el valor cementante de una base es crucial. Por el contrario, si las bases se crean a partir de elementos inertes, el tránsito de vehículos provoca deformaciones transversales. (Valenzuela, 2020, pág. 24)

c. Sub-Base

Es la parte superior que divide la base de la subrasante, dado que la subbase constituye una de las capas que se sitúa en la zona baja del pavimento, sobre ella se ejercen menos esfuerzo, por lo que el material que se utilice en su construcción debe tener una capacidad portante mínima. Además, la subbase impide que las partículas del suelo de la subrasante penetren en la capa de la base. (Valenzuela, 2020, pág. 25)

d. Sub Rasante

La subrasante sirve de base al pavimento y soporta las cargas que éste transmite a la vez que le proporciona apoyo. El pavimento será más fino y el coste se reducirá sin comprometer la calidad si la eficiencia del material de esta capa es mayor. El rendimiento de los suelos de la subrasante es crucial para los pavimentos porque soporta y recibe todas las cargas que transmite el pavimento. (Valenzuela, 2020, pág. 25)

2.2.5. Composición de la capa asfáltica en caliente

De acuerdo con Rengifo y Vargas (2017), la capa asfáltica del pavimento está conformada por siguientes materiales:

- Piedra triturada
- Arena natural y triturada
- Filler
- Cemento para asfaltar

La mezcla de concreto asfáltico en caliente debe cumplir las especificaciones que figuran en la tabla siguiente.

Tabla 1

Requisitos para la mezcla bituminosa en caliente

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1.Compactacion	75	50	35
2.Estabilidad (mínimo)	8.15 KN	5.44 KN	4.53 KN
3.Flujo 0,01" (0.25 mm)	8-14	8-16	8-20
4.Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5

Nota: Manual de carreteras-EG (2013, p 569)

- **Cementos Asfálticos:**

Ordaz (2016) afirma que los cementos bituminosos se fabrican a partir de asfalto extraído mediante una técnica de destilación del petróleo, procedimiento que elimina parte de los aceites del asfalto, así como los disolventes volátiles. Estos cementos tienen viscosidades variables según la temperatura, y entre sus constituyentes, las resinas proporcionan adherencia a los materiales pétreos. Como estas resinas se vuelven líquidas al calentarse, cubren por completo las partículas del material pétreo y sirven como buenos aglutinantes.

De acuerdo a Corredor (2005), Son empleados en la construcción de carreteras y representan un producto directo del proceso de refinamiento.

Comúnmente se categorizan en diversos tipos o grados según su penetración o viscosidad, como se ve en la tabla 2.

Tabla 2

Categorización de los cementos bituminosos

Penetración	Viscosidad
40-50	AC-40
60-70	AC-20
85-100	AC-10
120-150	AC-5

Nota: Apuntes de Pavimentos-volumen 2

2.2.6. Proceso de envejecimiento:

El envejecimiento puede ser el resultado de uno o varios mecanismos distintos. Polimerización por oxidación, volatilización y separación por tixotropía y sinéresis, pero el resultado final es siempre el mismo: una disminución de la vida útil del asfalto debido a la fragilidad, pérdida de adherencia y cohesión, y debido a que parte de los productos de descomposición se disuelven en agua, puede producirse incluso una disminución de la concentración de asfalto original de la mezcla (Corredor, 2005)

- Oxidación

Es el método a través del cual ciertas partículas del asfalto reaccionan con el oxígeno del aire y el agua. Los asfáltenos que se convierten en carbono son los componentes que más se oxidan, seguidos de las resinas que también se convierten en asfáltenos y, en menor medida, los aceites que también se transforman en resinas y asfáltenos.

- Volatilización



Es el proceso por el cual los componentes de menor peso molecular - típicamente aceites con un peso molecular inferior a 400- se evaporan, haciendo el líquido más viscoso. Este fenómeno, que no suele tener una influencia significativa en el envejecimiento del asfalto in situ, es de acuerdo con el tipo de asfalto utilizado en el proceso de refinado, así como del temple a la que se manipula el asfalto in situ.

- **Polimerización**

Es el proceso por el que moléculas más pequeñas se unen para producir moléculas más grandes. Debido al aumento del peso molecular, los aceites y las resinas se han transformado en asfáltenos.

- **Tixotropía**

Este fenómeno se caracteriza por un aumento gradual de la viscosidad en condiciones de carga cero. El calor o una fuerte deformación por cizallamiento pueden romper su estructura, que no es más que la alteración de los enlaces de los hidrocarburos, tales que ocurren cuando el asfalto y los áridos son mezclados en una planta por agentes externos. Este fenómeno suele producirse en pavimentos con poco o ningún tráfico, y el alcance de la estructura depende de la composición del ligante (Corredor, 2005)

- **Separación**

Este término se refiere a la baja de aceites, resinas o incluso asfáltenos como resultado de la absorción específica en el árido sobre el que se ha aplicado. Si la absorción es de aceites o resinas, el asfalto puede volverse más duro, y si es de asfáltenos, puede volverse más blando.

- **Sinéresis**



Es la reacción que hace que los líquidos migren o exuden a la capa superficial de la mezcla como resultado de una estructura que se forma y que permite combinar cuerpos intermedios pesados con un aceite muy ligero. (Corredor, 2005)

2.2.7. Elementos que influyen en la durabilidad del pavimento

Condiciones Ambientales:

- **Superficie de Rodadura:** Las vías enfrentan la acción del tráfico vehicular, así como la exposición a elementos como el sol, el viento, la lluvia y otros factores naturales. Estas consecuencias incluyen principalmente los efectos térmicos que ocasionan los cambios de masa, en respuesta al incremento y contorsión de los materiales por la variación de temperatura. (Valenzuela, 2020, pág. 27)
- **Capas interiores:** La mayor amenaza para las infraestructuras viales es el agua. Los materiales se vuelven deformables cuando están saturados de agua, que también satura las partículas y aplica cargas de tráfico. El material siempre tiene una mayor dimensión portante cuando está seco que cuando está húmedo, y se hace aún menor cuanto más cohesivo (o arcilloso) es el material. Además, el cuerpo del edificio se dilata si el agua del interior de la estructura alcanza su punto de congelación. Por ello, es esencial tener en cuenta la penetración del agua en la planificación de los pavimentos, en particular en la distribución del pavimento, que se compone principalmente de las capas de baja propiedad (Valenzuela, 2020, pág. 28)
- **Cargas del Tráfico:** Para favorecer el tráfico de vehículos se construyen carreteras. Los requisitos geométricos y estructurales del pavimento son determinados por la carga y el volumen de tráfico que experimenta una



carretera. A la hora de diseñar un pavimento, los aspectos más importantes del tránsito son los que nos ayudan a establecer el tamaño, la dimensión y la periodicidad de los pesos superficiales que puede ofrecer la carretera en un primer momento (Valenzuela, 2020, pág. 29)

- **Efectos de Trafico en el Pavimento:** Fenómenos que dan lugar a la formación de tensiones superficiales, las fuerzas de las ruedas pueden ser más importantes en un entorno donde la superficie es perpendicular o plana.
- **Abrasividad de los neumáticos.** La superficie es maltratada y carcomida por este movimiento, que es más notorio en los bordes. Esto resulta en una lenta reducción de la fricción superficial y del desgaste de la superficie. En consecuencia, la capa superficial envejece y se vuelve resbaladiza con la humedad, poniendo en peligro a quienes usan la vía. (Valenzuela, 2020, pág. 30)

2.2.8. Reciclaje de pavimento

Lizarazo (2015), menciona que el pavimento regenerado es crucial. Por ejemplo, supone un aumento progresivo de la producción para Colombia, donde se están demoliendo más materiales RAP (pavimento asfáltico reciclado) al utilizar estos materiales reciclados, se evita la explotación de materias primas, lo que beneficia al medio ambiente. China ha establecido regulaciones que prohíben la disposición de residuos de construcción y demolición como parte de sus esfuerzos para preservar el medio ambiente y reducir la contaminación por desechos sólidos. Alemania, por su parte, consiente controlar la reutilización de la basura en iniciativas éticas que cumplan las directrices necesarias. En Japón se creó una ley de reciclado para animar a contratistas y clientes a utilizar el reciclado de pavimentos en proyectos a gran escala.



Balbin y Chochon (2019), La reutilización de pavimentos existentes es una de las formas en que se lleva a cabo el reciclado de pavimentos. No obstante, estas mezclas también contienen una cierta cantidad de elementos y aditivos de nueva fabricación que se añaden con el objetivo de revitalizar y reforzar la mezcla.

El proceso de creación de mezclas de asfalto reciclado se utiliza en muchos países, sobre todo para el mantenimiento y la restauración de diversos tipos de carreteras. Esto se atribuye a las ventajas ofrecidas por el asfalto reciclado, incluyendo su rentabilidad y adaptabilidad para su uso en operaciones de reparación y mantenimiento de carreteras.

Materiales que integran la mezcla asfáltica reciclada en caliente.

- Materiales y agregados extraídos de carreteras deterioradas.
- Agregados nuevos.
- Asfalto
- Agentes químicos
- Agentes que favorecen la adherencia

2.2.8.1. Proceso de reciclado

De acuerdo con Soluasfalt (2017) las etapas a seguir en el proceso de rehabilitación de un pavimento deteriorado incluyen:

- Evaluar los daños y las irregularidades presentes en el pavimento.
- Realizar una limpieza exhaustiva de todas las superficies antes de comenzar el proceso.
- Elaborar el diseño correspondiente al espesor y la mezcla asfáltica reciclada.
- Emplear la maquinaria adecuada para dar inicio al fresado.

Figura 3

Rodillo de fresadora integrado en cuerpo de recicladora de asfalto



Fuente: soluasfalt

Para el reciclado se utiliza una máquina conocida como fresadora, luego se transporta el material recuperado de la carpeta asfáltica existente hacia un punto central de almacenamiento, para realizar el procesamiento del material. En función del número de metros cuadrados de pavimento, la fresadora se encarga según sus capacidades.

Se emplea una máquina móvil de reciclado para llevar a cabo el reciclado in situ. La operación en la planta, en relación con el costo por unidad cúbica de material, puede ser más o menos costosa en función de la ubicación de la recogida en la obra (de la planta a la obra o inversa).

La construcción y fortalecimiento de un pavimento recién instalado se llevan a cabo en una instalación de procesamiento de asfalto. La práctica de procesar in situ los componentes del pavimento es habitual en una planta de procesamiento de asfalto, y la reparación de pavimentos con el desarrollo de maquinaria potente para este tipo de operaciones, la reconstrucción de pavimentos puede llevarse a cabo a un costo más barato que de la forma tradicional.



Con el desarrollo de una maquinaria potente, la reconstrucción de pavimentos puede realizarse a un coste más barato que de la forma tradicional. Debido a la situación de los pavimentos en todo el mundo, la necesidad actual de restauración de pavimentos supera con creces la demanda de nuevas carreteras. En consecuencia, se ha implantado el reciclado de pavimentos; El reciclado de firmes es una solución ampliamente utilizada en muchas naciones adoptando la técnica de reparación de pavimentos como el método sugerido. (Valenzuela, 2020, pág. 33)

2.2.8.2. Reciclado in-situ

De acuerdo con Valenzuela (2020), Las maquinas han mejorado con el tiempo, especialmente los utilizados en pavimentos flexibles para la colocación de asfalto; las fresadoras son recicladoras de pavimentos modificadas que pueden fresar y estabilizar suelos, se crean con la intención de poder reciclar capas de pavimento de diferentes espesores en una sola pasada.

Se incorporan estabilizadores líquidos, lechada de cemento/agua o emulsión asfáltica, ya sea de forma individual o en combinación, y tal vez se suministren directamente a la cámara de mezcla para obtener altos niveles de compactación.

El pavimento reciclado se añade a la cámara de mezcla, donde se mezcla con potentes agentes estabilizadores, antes de verterlo en la pavimentadora mediante una barra pulverizadora especialmente diseñada. La máquina mezcladora en el lugar labora sobre el estabilizador en polvo, mezclándolo con el material reciclado, a continuación, se introduce agua en una única ocasión. (Valenzuela, 2020)



2.2.8.3. Reciclado en planta

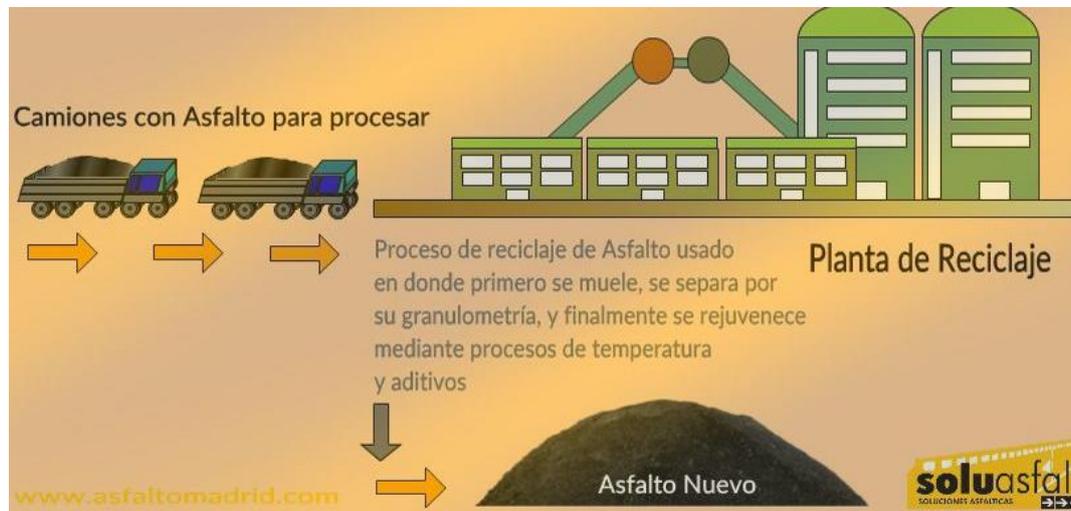
De acuerdo con Valenzuela (2020), Este enfoque es excelente y puede almacenarse para su uso posterior. Es apropiado para proyectos que requieran una cantidad significativa de reciclado y el tratamiento de una variedad de materiales.

Los beneficios del reciclaje en planta en comparación con el reciclaje in situ abarcan:

- Exámenes de los materiales previos a su utilización. Aunque la condición de los materiales empleados en el reciclado in situ no puede regularse completamente, su llegada a la planta móvil no puede posponerse.
- La ventaja clave del reciclado en planta es la capacidad de probar muestras para un producto final particular mezclando varios tipos de agregados, así como la capacidad de alterar la cantidad relativa de agregados en la mezcla y almacenar los materiales iniciales en depósitos con el fin de realizar pruebas antes de su utilización.
- Calidad de mezcla. El Proceso de mezcla continua puede modificarse, y la cantidad de tiempo que se mantiene el material en la cámara de mezcla puede cambiarse para alterar la naturaleza de la mezcla.
- Acopio de materiales. El pavimento recuperado creado bajo el reciclado puede almacenarse y utilizarse según sea necesario, eliminando la necesidad de fabricar y colocar la mezcla. (p.34)

Figura 4

Reciclaje de asfalto mediante traslado de materiales hasta planta procesadora



Nota: Soluastal

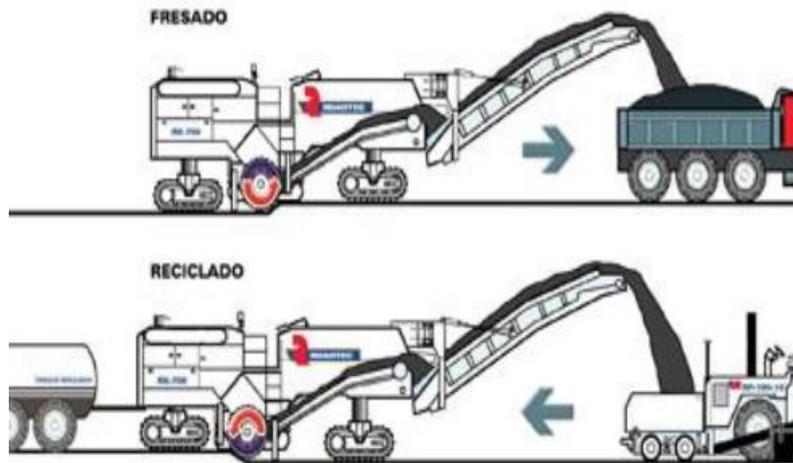
2.2.9. Aplicaciones de reciclado de pavimento flexible

De acuerdo con Valenzuela (2020), Dependiendo de los requisitos del proyecto o del entorno del emplazamiento, la rehabilitación y el mantenimiento de las infraestructuras vial se esfuerzan por lograr la satisfacción en la construcción a través de la implementación del reciclaje en frío. El material debe especificarse mediante investigaciones previas para determinar si se trata con aditivos o agente aglutinante.

El tipo de tratamiento al que se somete la mezcla (material) podría clasificar aún más cada categoría (con o sin ligante) una vez establecido el grupo de clasificación. Con respecto a la abreviatura "RAP" se refiere a "Pavimento de Asfalto Reciclado", una palabra reconocida internacionalmente para el material de asfalto fresado. (p.37)

Figura 5

Ciclo de fresado de pavimento



Nota: Plantas CIVER Brasil.

2.2.10. Beneficios del reciclado

2.2.10.1. Beneficios ambientales

La aplicación de mezclas asfálticas recicladas tiene varias ventajas medioambientales, como:

- Reciclaje de capas asfálticas que concluyeron su ciclo de vida.
- Reduciéndose la cantidad de vertederos.
- Reduciéndose la extracción de materiales nuevos.
- Minimización de los procesos de explotación de materias primas.

2.2.10.2. Beneficios económicos

Desde el punto de vista económico, las ventajas son las siguientes:

- Disminución de los costos en la pavimentación.
- Reducción de los costes de extracción y transporte de materias primas (como agregados y asfalto).



- Una menor duración de la intervención.
- Una reducción del contenido de ligante asfáltico de la mezcla.

Arguello y Aguilar (2019), indica: “La aplicación de RAP ha dado lugar a considerables reducciones de costes en el proceso de construcción, según varias autoridades internacionales. Las investigaciones han demostrado que las mezclas con porcentajes de RAP que oscilan entre el 20 y el 5% pueden ahorrar costes de construcción entre un 14 y un 32% (Kandhal y Mallick, 1997). Méndez (2015) encuentra que el uso de menos materias primas puede resultar en un ahorro de costes de hasta el 7,5% para la mezcla sin comprometer las cualidades mecánicas y físicas de las mezclas que contienen RAP”

2.2.11. Parámetros del diseño de mezcla

Los siguientes factores afectan a la calidad de una mezcla a altas temperaturas:

- **Estabilidad:** La resistencia del firme asfáltico a las cargas de tráfico sin producirse deformaciones. La fuerza interna y cohesividad son sus factores determinantes.
- **Durabilidad:** Capacidad del pavimento para soportar la desintegración provocada por el tráfico y el clima.
- **Flexibilidad:** Es la cualidad del pavimento asfáltico que Permite que la base y la capa inferior se adapten a los movimientos y ajustes sin experimentar grietas.
- **Resistencia a la fatiga:** Aptitud del firme para soportar las tensiones generadas por el tráfico constante.
- **Resistencia a resbalar:** Habilidad de un pavimento completamente mojado para prevenir el deslizamiento.

- **La impermeabilidad:** Se considera la resistencia del pavimento a la infiltración de agua y aire.
- **La trabajabilidad:** se refiere a lo sencillo que resulta colocar y compactar una mezcla.

2.2.12. Diseño del pavimento asfáltico en caliente – Método Marshall

Para la preparación de la mezcla bituminosa a altas temperaturas, se seguirán las directrices del manual de especificaciones generales, que es esencial para incorporar agregados minerales gruesos y finos, así como los materiales que se detallan a continuación:

2.2.12.1. Agregados minerales gruesos:

Agregados retenidos en los tamices de 4,75 mm (N.º 4); la grava gruesa deberá provenir del chancado de rocas, las partículas deberán ser fuertes, durables y limpios, sin demasiada de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables.

No puede contener suciedad, polvo u otros elementos no deseados que impidan la adherencia del asfalto. La tabla 3 contiene una lista completa de las normas de calidad necesarias.

Tabla 3

Criterios necesarios para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento altitud (msnm) >3000
Durabilidad al Sulfato de Magnesio	MTC E 209	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.
Partículas Chatas y Alargadas	ASTM 4791	10% máx.

Ensayos	Norma	Requerimiento
		altitud (msnm) >3000
Caras Fracturadas	MTC E 210	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 206	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	1.0% máx.

Nota: Manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción. (2013, p 265)

2.2.12.2. Agregados minerales finos:

Es el agregado fino que se encuentra retenido en los tamices de 4,75 mm y 75 μm (N.º 4 y N.º 200) y el polvo mineral que pase el tamiz de 75 μm (N.º 200). Las partículas deberán provenir de la trituración o de la arena natural.

Las partículas deben estar exentas de cualquier sustancia y deberán cumplir con los criterios mostrados en la tabla 4:

Tabla 4

Criterios para los agregados finos

Pruebas de laboratorio	Norma	Requisito
		altitud (msnm) >3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	40
Azul metileno	AASTHO TP 57	8 máx.
Índice de plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 min.
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	NP
Sales Solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.

Nota: Manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción. (2013, p 265)

2.2.12.3. Gradación:

Las partículas de agregados minerales deberán encajar a una de las gradaciones presentados en la tabla 5.

La mezcla de agregados gruesos, finos (arena natural y chancada) y filler deberá ajustarse a la tabla N°5, de acuerdo a la granulometría requerida.

Tabla 5

Gradación de MAC

Tamiz	PORCENTAJE QUE PASA		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
1"	100		
3/4"	80-100	100	
1/2"	67-85	80-100	
3/8"	60-77	70-88	100
N°04	43-54	51-68	65-87
N°10	29-45	38-52	43-61
N°40	14-25	17-28	16-29
N°80	8-17	8-17	9-19
N°200	4-8	4-8	5-10

Nota: Manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción. (2013, p 266)

2.2.12.4. Filler:

Filler o polvo mineral necesario para espesar el asfalto, rellenanante de vacíos o también potenciador de la adhesión entre el árido y el betún, provendrá del resto del chancado de agregados minerales o de un producto comercial, como la cal hidratada o el cemento portland.

2.2.12.5. Parámetros de diseño de mezclas

La combinación de los distintos elementos debe satisfacer los estándares de calidad establecidos en la tabla N°1.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

Se clasifica como aplicada debido a que las cuestiones que resuelve pueden ser abordadas de inmediato con la ayuda de las soluciones que proporciona.

La metodología de este estudio es cuantitativa, y se utilizan mediciones para comprobar las hipótesis. (Hernandez et al. 2014)

3.1.2. Nivel de la investigación

Es explicativa, pues se centra en explicar los motivos por los que se produce un fenómeno físico o social y en qué circunstancias se pone de manifiesto, o porque relaciona a dos o más variables. (Hernandez et al. 2014).

3.1.3. Diseño de la investigación

Diseño experimental, este estudio es del tipo cuasiexperimental. Este tipo de experimento se diferencia de los denominados "puros" en el nivel de certeza que puede proporcionarse acerca de la equivalencia original de los agrupamientos. Se altera deliberadamente por lo menos una variable independiente con el fin de analizar su efecto sobre las otras variables dependientes.

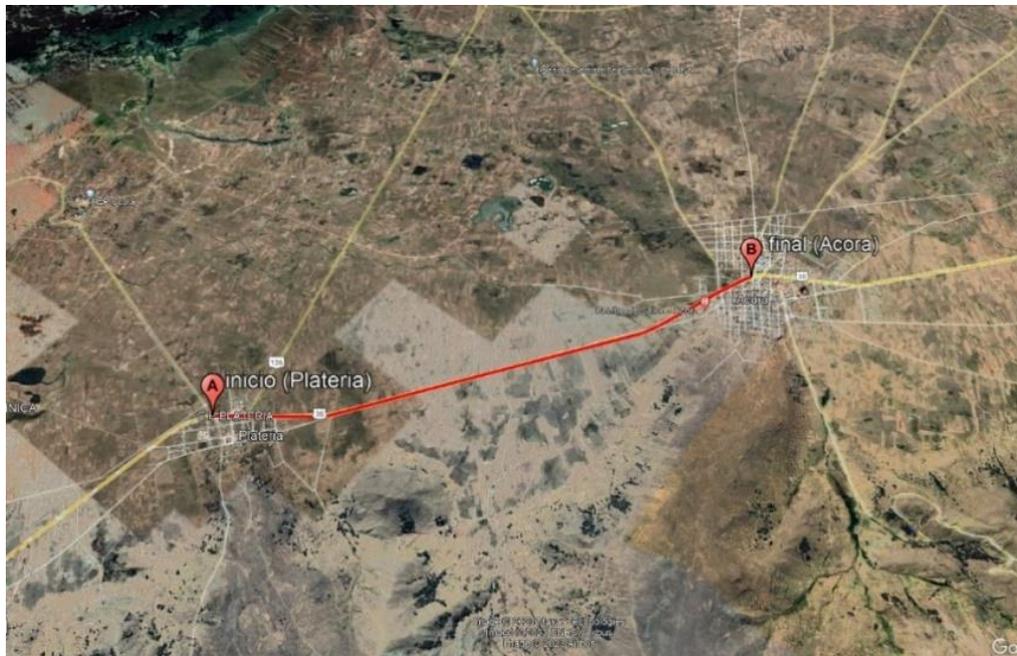
Los sujetos de los diseños cuasiexperimentales se colocan en grupos intactos que ya se han constituido antes del experimento, en lugar de ser asignados aleatoriamente a ellos o emparejados. (Hernandez et al. 2014)

3.1.4. Ubicación geográfica del estudio

La sección evaluada se encuentra a una altura de 3867 metros sobre el nivel del mar, cercano al lago Titicaca, departamento de Puno, desde el distrito de Platería hacia Acora. Entre los kilómetros 1386+600 y 1391+000, precisamente sobre la Ruta Nacional PE-3S.

Figura 6

Ubicación geográfica Platería-Acora



Fuente: Google Earth

3.1.5. Descripción del tramo Platería – Acora

El tramo evaluado está ubicado a una altura de 3867 m.s.n.m. cercano al lago Titicaca, desde el distrito de Platería hacia Acora. Entre los kilómetros 1386+600 y 1391+000, precisamente sobre la Ruta Nacional PE-3S; Esta es una carretera que tiene dos carriles, una anchura de calzada de 7,40 metros, sin separador central y una base de asfalto de 0,15 metros para la superficie de la calzada. Se presenta las fotos del tramo Platería-Acora.



Tabla 6

Condición del pavimento flexible

PUNTO INICIAL	PUNTO FINAL	CONDICIÓN
1385+000	1385+080	Malo
1385+080	1385+120	Fallado
1385+120	1385+160	Regular
1385+160	1385+240	Muy malo
1385+240	1385+520	Malo
1385+520	1385+640	Muy malo
1385+640	1385+880	Malo
1385+880	1385+920	Fallado
1385+920	1386+520	Muy malo
1386+520	1390+000	Fallado
1390+000	1390+360	Muy malo
1390+360	1390+520	Malo
1390+520	1390+560	Regular
1390+560	1391+000	Malo

Nota: Canchaco 2021

Figura 7

Hundimiento severo KM 1391+000



Figura 8

Ahuellamiento severo KM 1388+100



3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

Arias (2012), afirma ““La población es un grupo delimitado con rasgos semejantes para el cual los hallazgos de la investigación tendrán un carácter extensivo”. El tema y los objetivos de la pesquisa sirven como sus límites.

La población objeto de estudio es el tramo Platería – Acora que se encuentra entre los kilómetros 1386+600 y 1391+000, precisamente sobre la Ruta Nacional PE-3S

3.2.2. Muestra

De acuerdo al manual de ensayo de materiales (2016), las muestras se deben adquirir a distancias no superiores a 150 metros. Es por ello que se determinó tomar como muestra 1000 metros, desde la progresiva 1387+000 hasta la progresiva 1388+050, lo que daría 7 muestras.

El muestreo se justifica por dos razones fundamentales:

- **primero:** se calculó el tamaño de muestra mediante la siguiente expresión.

$$n = \frac{N * \sigma^2 * Z^2}{(N-1) * e^2 + \sigma^2 * Z^2}$$

N (población): 5000m, σ (desviación estándar): 0.5, Z (nivel de confianza): 95%=1.96, e (margen de error): 2.8%, lo que da n=1000 metros de muestra del tramo Platería – Acora.

- **segundo:** según Canchaco (2021), en la tabla 6 se muestra la variedad de condición de la vía entre regular hasta fallado, por lo que se toma la peor de las condiciones, el cual es el tramo fallado ubicado en los km 1386+520 al 1390+000

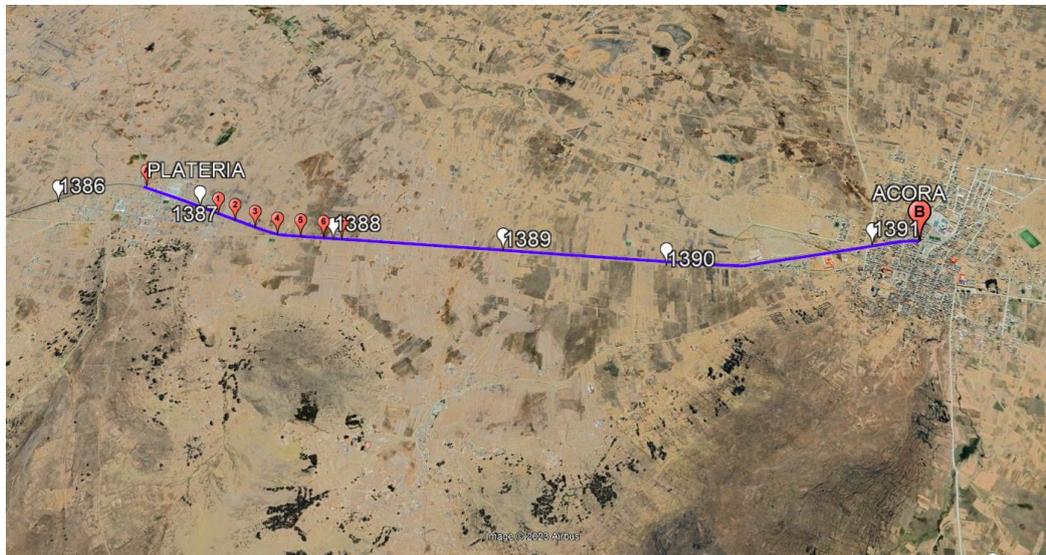
Los puntos de extracción fueron los siguientes:

- 1: Km 1387+150

- 2: Km 1387+300
- 3: Km 1387+450
- 4: Km 1387+600
- 5: Km 1387+750
- 6: Km 1387+900
- 7: Km 1388+050

Figura 9

Puntos de la muestra del material reciclado



Nota: Google Earth

Figura 10

Punto N°4: Km 1387+600



Figura 11

Punto N°5: Km 1387+750



Figura 12

Punto 6: Km 1387+900



3.2.3. Agregados de aportación

Se extrajeron los agregados tales como: arena natural, piedra y arena chancada de la cantera Covas, la cual está situada a un trayecto de 1.00 km del Centro Poblado Rosario de Sorapa (Juli - Chucuito), Carretera Ilave - Mazocruz Mz. C Km. 38.

Figura 13

Cantera Covas



Nota: Google maps (centro poblado de Rosario de Sorapa - Juli)

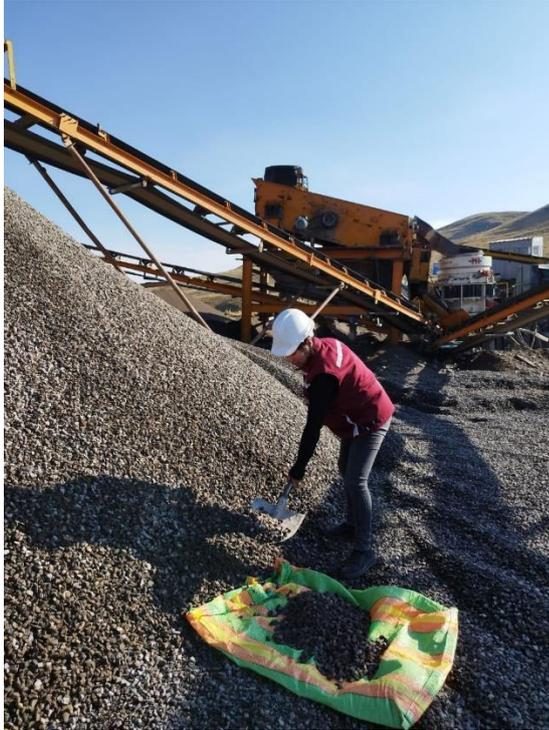
Figura 14

Arena chancada



Figura 15

Piedra chancada



3.2.4. Toma de muestras de la subrasante

De acuerdo a la tesis de Canchaco (2021) y un análisis visual del kilómetro estudiado se tomó un punto crítico para el estudio de sus características físico mecánicas de la subrasante ubicado en el kilómetro 1387+500 del tramo en estudio.

Figura 16

Obtención de la muestra de subrasante



3.3. ENSAYOS A LA MUESTRA DE LA SUBRASANTE

3.3.1. Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107

a. Objetivo

Medir de forma numérica la dispersión de dimensiones de partículas en el suelo.

b. Herramientas y suministros

- Balanza con rigor del 0.01%
- Juego de tamices: 1", 3/4", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°60, N°200, pasante
- Brocha y cepillo

c. Proceso

- Se cuarteo, para la obtención de una muestra representativa.
- Se procedió al lavado de la muestra sobre el tamiz N°200

- La prueba lavada se introdujo en el horno por 24 hrs. y luego se procedió al pesado del mismo
- Luego se procedió con el agitado de los tamices durante 10 minutos al menos.
- Finalmente se pesó los agregados retenidos en cada tamiz

Figura 17

Cuarteo de la muestra de la subrasante



Figura 18

Granulometría de la subrasante



d. Proceso

El ensayo se realizó con 4890 gr. cómo se evidencia en la tabla 7.

Tabla 7

Granulometría de la subrasante

Tamiz	Peso	Porcentaje	% Retenido	% Pasante
pulg.	Retenido	Contenido	Acumulado	
1"	337.14	6.9	6.9	93.1
3/4"	351.52	7.2	14.1	85.9
3/8"	999.78	20.4	34.5	65.5
N°04	824.68	16.9	51.4	48.6
N°10	770.75	15.8	67.1	32.9
N°20	547.08	11.2	78.3	21.7
N°40	479.88	9.8	88.1	11.9
N°60	239.57	4.9	93.0	7.0
N°100	234.31	4.8	97.8	2.2
N°200	104.06	2.1	100.0	0.0
Pasante	2.11	0.0	100.0	0.0



3.3.2. Proctor modificado MTC E 115

a. Objetivo

Determinar la humedad óptima para una densidad optima seca.

b. Herramientas y suministros

- Molde cilíndrico metálico de 6” de diámetro interior 4.584” +-
- Pistón de compactación
- Enrasador (regla metálica)
- Horno
- Balanza

c. Proceso

- El método para el ensayo Proctor fue la “C” con 5 capas y de 56 golpes cada capa; debido a su granulometría.
- Se tomo 6 kg de material para realizar el ensayo.
- El producto se vertió en un molde cilíndrico para su apisonado con 56 golpes en cada capa, una vez concluido se enraso cuidadosamente con la regla metálica obteniendo una superficie plana.

Figura 19

Preparado de muestra a diferentes porcentajes de agua



Figura 20

Apisonado de la muestra



d. Resultado

Tabla 8*Densidad seca*

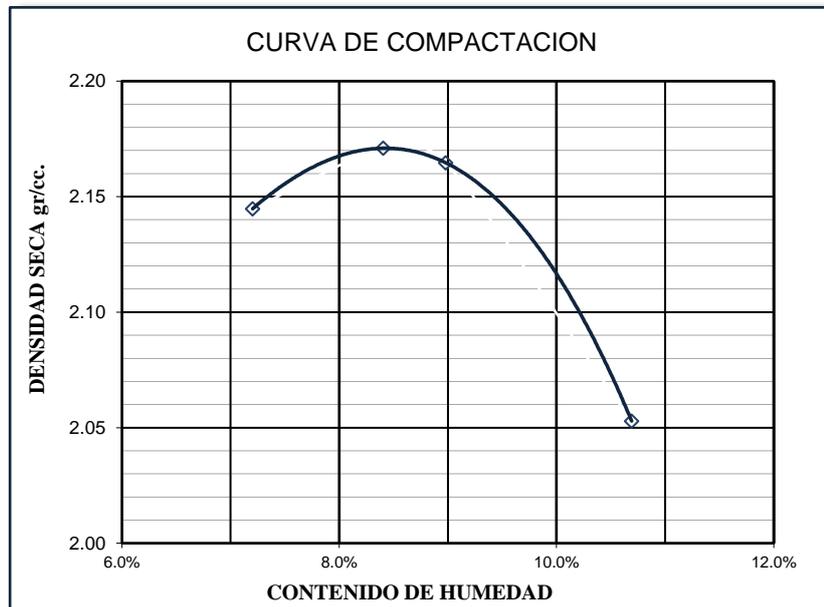
VERIFICACIÓN N°	1	2	3	4
	4%	6%	7%	8%
N° de manto	5	5	5	5
N° golpes en cada manto	56	56	56	56
W molde + W suelo comprimido (gr)	10496	10611	10623	10439
W molde vacío (gr)	5614	5614	5614	5614
W muestra compactado (gr)	4882	4997	5009	4825
Volumen del molde (cm ³)	2123.312	2123.312	2123.312	2123.312
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.299	2.353	2.359	2.272
Densidad seca (gr/cm ³)	2.14	2.17	2.16	2.05

Tabla 9*Resultados del contenido de humedad*

ESTIMACIÓN DE LA HUMEDAD				
Prueba No.	1	2	3	4
Tara No.	T1	T2	T3	T4
W tara + muestra húmeda (gr)	535.55	698	489.39	461.93
W tara + muestra seca (gr)	502.02	649.49	452.37	420.93
W tara (gr)	36.49	72.28	40.1	37.44
W suelo seco (gr)	465.53	577.21	412.27	383.49
Humedad (%)	7.20	8.40	8.98	10.69
Densidad seca (gr/cm ³)	2.14	2.17	2.16	2.05

Figura 21

Curva de contenido de humedad optimo vs densidad seca



En la Figura 21 se visualiza el contenido de humedad óptima para un 8.62% y una densidad seca máxima de 2.172 gr/cm³. Este resultado fue utilizado para la elaboración del ensayo de CBR.

3.3.3. California bearing ratio MTC E 132

a. Objetivo

Determinar el parámetro de resistencia de la subrasante.

b. Herramientas y suministros

- Prensa para ensayos de compresión
- Molde cilíndrico de metal
- Pistón de compactación
- Balanzas
- Horno
- Accesorios para manipulación de muestras

c. Proceso

- La prueba de suelo se ha preparado con el grado de humedad óptimo obtenido en la prueba Proctor.
- Se procedió a la compactación de la prueba, se pesó la muestra y midió la altura final del molde.
- Se obtuvo el contenido de humedad de la muestra compactada
- Se colocó el molde en una base perforada para luego sumergirlo en el agua.
- Se registró la prueba de expansión cada 24 horas durante 4 días.
- Se realizó la prueba de penetración a una velocidad constante, registrándose la carga y la penetración en incrementos específicos de profundidad.

Figura 22

Moldes de CBR compactados



Figura 23

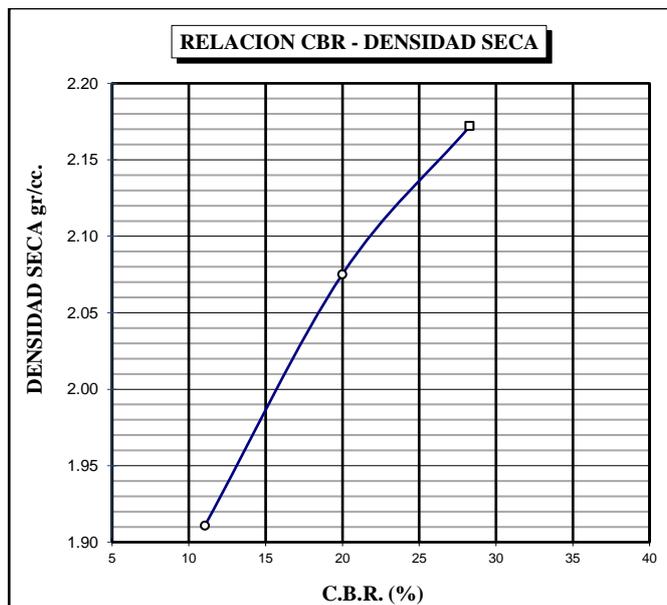
Retirado de los moldes de CBR del pozo de agua



d. Resultado

Figura 24

Relación CBR-densidad seca





La muestra ensayada tiene un CBR de 28%, que se encuentra dentro del rango de Subrasante Muy Buena ($CBR \geq 20\%$ A $CBR < 30\%$).

3.4. ENSAYOS A LA MUESTRA ASFALTICA RECICLADA

3.4.1. Homogenización y toma de muestra representativa

a. Objetivo:

Tomar una muestra representativa para realizar la caracterización de la capa asfáltica y su nuevo diseño de mezcla reciclada.

b. Proceso:

- Se colocó los fragmentos de muestra reciclada al horno a 60 °C durante 20 min, para luego disgregarlo.
- La muestra se colocó sobre una superficie limpia y estable, para proceder con el disgregado evitando la pérdida o contaminación del mismo.
- Se mezcló las 7 muestras hasta lograr su homogenización, y se procedió a la toma de muestra representativa mediante el cuarteo.

Figura 25

Homogenización de la muestra reciclada



3.4.2. Extracción cuantitativa del asfalto – MTC E 502

a. Objetivo

Determinar cuantitativamente la cantidad de asfalto en la muestra obtenida, el agregado obtenido se puede someter a un análisis de granulometría.

b. Herramientas y suministros

- Horno
- Bandeja
- Balanza con exactitud 0.01%
- Anillos filtrantes de papel
- Solvente (gasolina)
- Recipiente extractor
- recipiente

c. Proceso



- Se calentó la muestra en el horno hasta que sea lo suficientemente blanda y pueda ser manejable.
- La cantidad de muestra tomada mediante el cuarteo es de 2kg. para un tamaño nominal máximo de $\frac{3}{4}$ ". De acuerdo a la tabla N°10.

Tabla 10

Cantidad de muestra a ensayar

Tamaño Nominal Máximo del Agregado		Masa mínima de la
Mm	Pulg	muestra kg
4.75	(N°4)	0.5
9.50	3/8"	1.0
12.50	1/2"	1.5
19.00	3/4"	2.0
25.00	1"	3.0
37.50	1 1/2"	4.0

- La muestra fue colocada en el recipiente extractor, cubriéndola con gasolina durante una hora para su desintegración.
- Pasado el tiempo mencionado se procedió al colocado del papel filtrante, tapa y un recipiente para la recolección de la extracción.
- El centrifugado se inició lentamente y se fue incrementando gradualmente hasta la extracción total de la gasolina. El Proceso se repitió hasta que el solvente extraído sea claro.
- Se removió el papel filtrante de la maquina extractora y se llevó a secar, para determinar su peso final.
- Se coloco en una bandeja los agregados obtenidos.

Figura 26

Cuarteo del material reciclado



Figura 27

Extracción cuantitativa del asfalto



Figura 28

Agregado obtenido del pavimento reciclado



d. Resultado

Tabla 11

Porcentaje de asfalto del pavimento reciclado

Muestra	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Inicial de Filtro (gr)	Peso Final de Filtro (gr)	% Asfalto
asfalto reciclado	2,213.00	2088.60	15.32	18.64	5.77%

Del ensayo de extracción cuantitativa del asfalto se obtiene como resultado un 5.77% de asfalto en una muestra de 2,213.00 gr.

3.5. ENSAYOS PARA LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MAC-1

3.5.1. Granulometría del material reciclado

a. Objetivo

Determinación de la composición por dimensiones de los agregados recuperados de la capa asfáltica a través del proceso de tamizado.

b. Herramientas y suministros

- Balanza con precisión de 0.01%
- Juego de tamices: 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°10, N°40, N°80, N°200, pasante.
- Brocha y cepillo

c. Proceso

- La muestra representativa de agregado fue introducida en el horno y se secó hasta conseguir un valor de peso fijo.
- Se determinó el peso de la cantidad de agregado grueso y fino que se sometería a tamizado.
- Luego se procedió con el agitado de los tamices.
- Finalmente se pesó los agregados contenidos en los tamices.

Figura 29

Granulometría del pavimento asfáltico reciclado



d. Resultado del pavimento reciclado

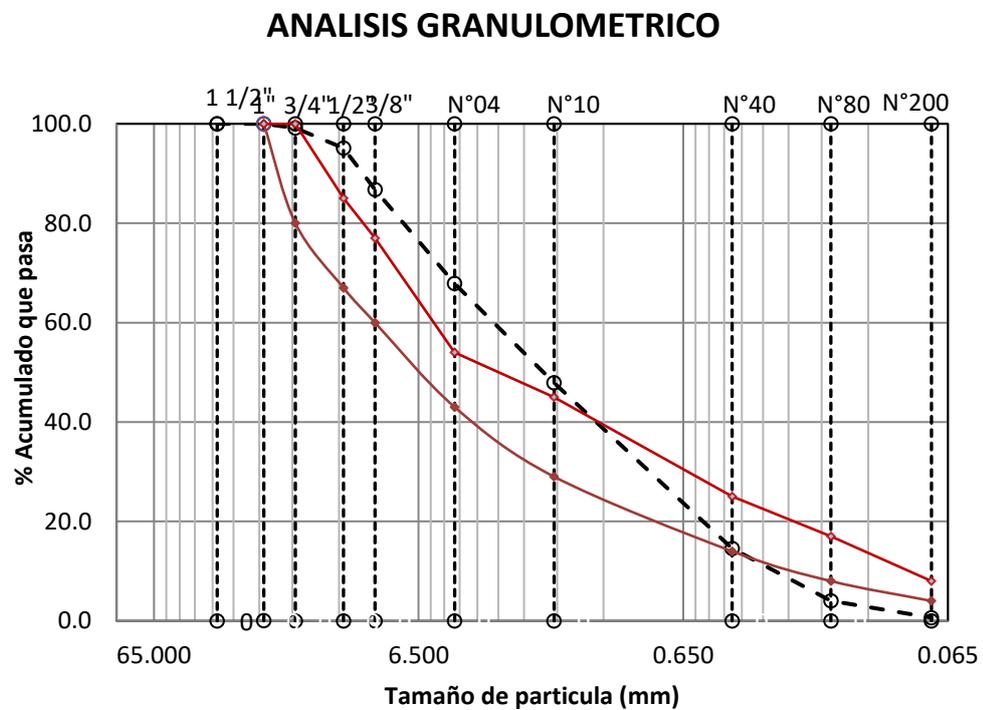
Tabla 12

Granulometría del pavimento reciclado

Tamiz		Peso	Porcentaje	Porcentaje	%
pulg.	mm.	Retenido	Contenido	Acumulado	Pasante
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	17.7	0.8	0.8	99.2
1/2"	12.500	85.0	4.1	4.9	95.1
3/8"	9.500	173.2	8.3	13.2	86.8
N°04	4.750	394.8	18.9	32.1	67.9
N°10	2.000	417.0	20.0	52.1	47.9
N°40	0.425	696.6	33.4	85.4	14.6
N°80	0.180	219.9	10.5	96.0	4.0
N°200	0.075	70.8	3.4	99.4	0.6
< N° 200	FONDO	13.5	0.6	100.0	0.0

Figura 30

Análisis granulométrico del pavimento reciclado



La granulometría del pavimento reciclado no está dentro de los rangos de la línea MAC-1

e. Resultado del material nuevo

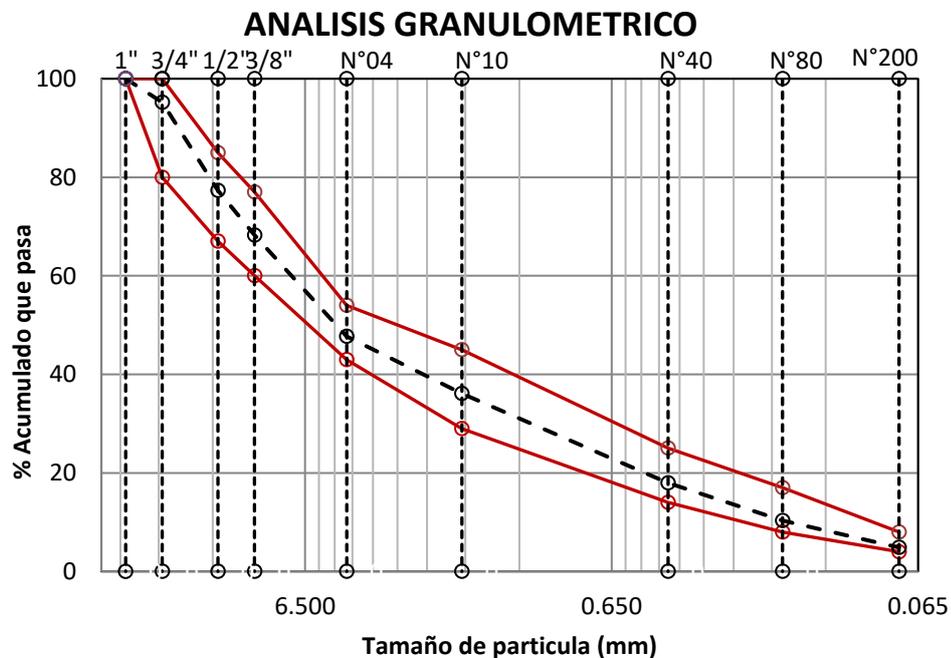
Tabla 13

Granulometría del agregado nuevo

Tamiz	Piedra Chancada	Arena Chancada	Arena Zarandeada	filler	% Que Pasa	Especificaciones
pulg.	mm.	45%	35%	18%	2%	Gradación: MAC - 1
1"	25.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100 100
3/4"	19.000	89.4	100.0	100.0	100.0	95.2 80 100
1/2"	12.500	49.6	100.0	100.0	100.0	77.3 67 85
3/8"	9.500	29.5	100.0	100.0	100.0	68.3 60 77
N°04	4.750	0.0	84.6	90.6	100.0	47.7 43 54
N°10	2.000	0.0	60.1	75.3	100.0	36.1 29 45
N°40	0.425	0.0	43.6	13.6	100.0	18.0 14 25
N°80	0.180	0.0	28.0	2.6	100.0	10.3 8 17
N°200	0.075	0.0	13.4	0.8	100.0	4.9 4 8
< N° 200	FONDO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 31

Análisis granulométrico del agregado nuevo





3.5.2. Porcentaje de partículas chatas y alargadas MTC E 223

a. Objetivo

Calcular el porcentaje de agregados planos y alargados presentes en los agregados gruesos.

b. Herramientas y suministros

- Balanza con una precisión de 0.01%
- Dispositivo de calibración
- Juego de tamices

c. Proceso

- Se realizó el ensayo con las partículas pasantes del tamiz de 1" y retenidos en el tamiz 3/8".
- Se ajustó el dispositivo de calibración a una proporción de 1:2
- Para determinar si son partículas alargadas: Se colocó el agregado en la abertura mayor y el poste (forma longitudinal), se considera que una partícula es larga si su dimensión más extensa atraviesa la abertura menor.
- Para determinar si son partículas chatas: Se colocó el agregado en la abertura mayor y el poste (ancho), la partícula se clasifica como larga si su dimensión en términos de espesor atraviesa la abertura más pequeña.
- Se procedió a la determinación de proporción de chatas y alargadas con respecto al total.

Figura 32

Ensayo de agregados chatas y alargados



d. Resultado del material reciclado

Tabla 14

Porcentaje de agregados chatas y alargadas del pavimento reciclado

Material		Chatas	Alargadas	Ni chatas ni alargadas
<i>Tamiz (Pulg)</i>	<i>Abertura (mm)</i>	<i>(gr.)</i>	<i>(gr.)</i>	<i>(gr.)</i>
3/4"	19.050	18.95	0.00	278.11
1/2"	12.700	23.64	5.10	247.14
3/8"	8.750	8.21	6.74	249.79
SUB TOTAL:		50.80	11.84	775.04
Total:				62.64
Peso total (gr.)				837.68
Partículas chatas y alargadas				7.48%

Del ensayo se obtuvo un valor de 7.48% de partículas chatas alargadas; este valor se encuentra dentro del rango de requerimientos de la MTC según la tabla 2 (10.00% máx.).



e. Resultado del material nuevo

Tabla 15

Porcentaje de agregados chatas y alargadas del material nuevo

MATERIAL		CHATAS	ALARGADAS	NI CHATAS NI ALARGADAS
<i>Tamiz (Pulg)</i>	<i>Abertura (mm)</i>	<i>(gr.)</i>	<i>(gr.)</i>	<i>(gr.)</i>
3/4"	19.050	25.92	0.00	298.14
1/2"	12.700	26.77	3.14	410.83
3/8"	8.750	5.37	7.39	133.56
SUB TOTAL:		68.59		842.53
PESO TOTAL DE LA MUESTRA (gr.)				911.12
% DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS				7.53%

Del ensayo se obtuvo un valor de 7.53% de partículas chatas alargadas; este valor se encuentra dentro del rango de requerimientos de la MTC (10.00% máximo para vías >3.000 m.s.n.m.)

3.5.3. Porcentaje de partículas fracturadas MTC E 210

a. Objetivo

Calcular la cantidad de partículas que han sufrido fracturas en el agregado grueso reciclado

b. Herramientas y suministros

- Tamices
- Taras
- Balanza
- Brocha

c. Proceso

- Mediante cuarteo se obtuvo una muestra representativa, para luego tamizarlo extraer las partículas retenidas en 3/4", 1/2" y 3/8".

- La muestra fue dispersada sobre una mesa lisa y libre de impurezas, para la verificación de caras fracturadas.
- La separación se realizó en tres grupos: 01 cara fracturada, 02 caras fracturadas y ninguna cara fracturada.
- Se peso los grupos de partículas de agregados reciclados respecto al total.

Figura 33

Porcentaje de partículas fracturadas



d. Resultado del material reciclado

Tabla 16

Partículas fracturadas del pavimento reciclado (dos a más caras)

Tamaño del agregado		Muestra total (gr)	Caras fracturadas (gr)
Pasa la malla	Retenido en la malla		
3/4"	1/2"	124.7	90.8
1/2"	3/8"	457.8	412.7
3/8"	1/4"	435.9	352.4
total		1018.4	855.9
% con dos o más caras fracturadas:			84%



Tabla 17

Partículas fracturadas del pavimento reciclado (una o más caras)

Tamaño del agregado		Muestra	Caras fracturadas
Pasa tamiz	Retenido en tamiz	total (gr)	(gr)
3/4"	1/2"	124.7	118.3
1/2"	3/8"	457.8	448.1
3/8"	1/4"	435.9	384.7
total		1018.4	951.1
% con una o más caras fracturadas:			93%

Del ensayo de porcentaje de partículas fracturadas según MTC E-210 se obtiene un 93% con una o más caras fracturadas y un 84% de dos a más caras fracturadas, esto se interpreta como un 93/84; este valor se encuentra dentro del rango de requerimientos de la MTC para agregados reciclados 85/70 (>3.000 msnm) según la tabla N°4.

e. Resultado del material nuevo

Tabla 18

Partículas fracturadas del material nuevo (dos o más caras)

Tamaño Del Agregado		Muestra	Caras Fracturadas
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	Total (Gr)	(Gr)
3/4"	1/2"	1414	1362
1/2"	3/8"	1005	943.67
3/8"	1/4"	435.9	328.47
Total		2854.9	2634.14
% con dos o más caras fracturadas:			92%

Tabla 19

Partículas fracturadas del material nuevo (una o más caras)

Tamaño Del Agregado		Muestra	Caras Fracturadas
Pasa Tamiz	Retenido En Tamiz	Total (Gr)	(Gr)
3/4"	1/2"	1414	1361.87



Tamaño Del Agregado		Muestra	Caras Fracturadas
Pasa Tamiz	Retenido En Tamiz	Total (Gr)	(Gr)
1/2"	3/8"	1005	967.94
3/8"	1/4"	435.9	349.89
Total		2854.9	2679.7
% con una o más caras fracturadas:			94%

Del ensayo de porcentaje de agregados fracturados según MTC E-210 se obtiene un 94% con una o más caras fracturadas y un 92% de dos a más caras fracturadas, esto se interpreta como un 94/92; este valor se encuentra dentro del rango de requerimientos de la MTC para agregados gruesos de aportación (90/70 para >3.000 msnm)

3.5.4. Abrasión los ángeles MTC 207

a. Objetivo

Evaluar la solidez a la degradación de los áridos gruesos.

b. Herramientas y suministros

- Máquina de los ángeles
- Tamiz N°12
- Esferas de acero
- Balanza con precisión de 0.1%

c. Proceso

- La muestra se lavó y se secó en el horno para obtener un valor de pesaje estable.
- Dado que nuestro dimensionamiento nominal máximo es 3/4", se trataría de una clasificación B, según la tabla N° 20.

Tabla 20*Gradación para muestra de ensayo*

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
		Gradación			
Que pasa	Retenido sobre	A	B	C	D
37,5 mm (1 ½ “)	25,0 mm (1”)	1 250 ± 25			
25,0 mm (1”)	19,0 mm (¾”)	1 250 ± 25			
19,0 mm (¾”)	12,5 mm (½”)	1 250 ±10	2 500 ±10		
12,5 mm (½”)	9,5 mm (3/8”)	1 250 ±10	2 500 ±10		
9,5 mm (3/8”)	6,3 mm (¼”)			2 500 ±10	
6,3 mm (¼”)	4,75 mm (N° 4)			2 500 ±10	
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)				5 000
TOTAL		5 000 ±10	5 000 ±10	5 000 ±10	5 000 ±10

Nota: Manual de ensayo de materiales

- Para una gradación B, se usó 11 esferas de acero.
- La muestra de árido grueso se colocó en la máquina junto con las esferas de acero.
- Se hizo girar a una frecuencia de 30 rpm durante 500 vueltas.
- Al terminar, el material se sacó de la máquina y se tamizó con el tamiz n° 12.
- Todo el producto que quedó atrapado en el tamiz N° 12 se pesó y se comparó con el peso inicial.

Figura 34

Ensayo de abrasión de los ángeles



Figura 35

Resultado del ensayo de abrasión de los ángeles del agregado de aportación



d. Resultados de la muestra reciclada

Tabla 21*Porcentaje de desgaste del agregado reciclado*

Muestra	muestra de capa asfáltica reciclada
Gradación	B
Peso de la muestra	5000
1 1/2" - 1"	
1" - 3/4"	
3/4" - 1/2"	2500
1/2" - 3/8"	2500
3/8" - 1/4"	
1/4" - N°4	
N°4 - N°8	
W inicial	5000
Retenido en la malla N°12	3798
Pasante de la malla N°12	1202
% Desgaste	24.04%

Del ensayo de Abrasión de los Ángeles según MTC E-207 se obtuvo un 24.04% de desgaste; este valor se encuentra dentro del rango de requerimientos de la MTC para agregados reciclados, 25.00% de desgaste máximo según cuadro (para vías >3.000 m.s.n.m.)

e. Resultados del agregado de aportación**Tabla 22***Resultados de abrasión de los ángeles del agregado de aportación*

Muestra	piedra chancada
Gradación	B
Peso de la muestra	5000
1 1/2" - 1"	
1" - 3/4"	
3/4" - 1/2"	2500
1/2" - 3/8"	2500



Muestra	piedra chancada
Gradación	B
Peso de la muestra	5000
<hr/>	
3/8" - 1/4"	
1/4" - N°4	
N°4 - N°8	
DESGASTE TOTAL	
Peso inicial	5000
Retenido en la malla N°12	3805
Que pasa en la malla N°12	1195
<hr/>	
% Desgaste	23.90%
<hr/>	

Del ensayo de Abrasión de los Ángeles según MTC E-207 se obtuvo un 23.90% de desgaste; este valor se encuentra dentro del rango de requerimientos de la MTC para agregados de aportación (35.00% de desgaste máximo para vías >3.000 m.s.n.m.).

3.5.5. Absorción de los agregados gruesos MTC E 206

a. Objetivo

Determinar la absorción de un agregado

b. Herramientas y suministros

- Balanza
- Cesta de malla con alambre
- Depósito de agua
- Tamiz de 3/4" y N° 04
- Estufa
- Franela

c. Proceso

- Se colocó una muestra de grueso con un peso de 3.0 kg. pasante del tamiz 1" y retenido en el N°04. De acuerdo con la tabla 23.

Tabla 23

Peso mínimo para el ensayo de absorción

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

Nota: Manual de ensayo de materiales

- La prueba se lavó y se secó en un horno hasta conseguir un pesaje estable.
- Se obtuvo el pesado de la prueba.
- El agregado grueso se sumergió en agua durante 24 horas.
- Pasado las 24 horas se extrajo el material del agua sobre una franela para su secado superficial.
- Se realizó el pesado de la prueba ya saturada y con superficie seca.
- Se colocó la muestra en la canastilla de malla metálica, para sumergirlo en agua y obtener un peso de la muestra sumergida (la temperatura del agua es de 24 °C).
- La muestra se ha secado en horno hasta alcanzar un valor de peso fijo y se ha pesado.

Figura 36

Secado superficial del agregado grueso

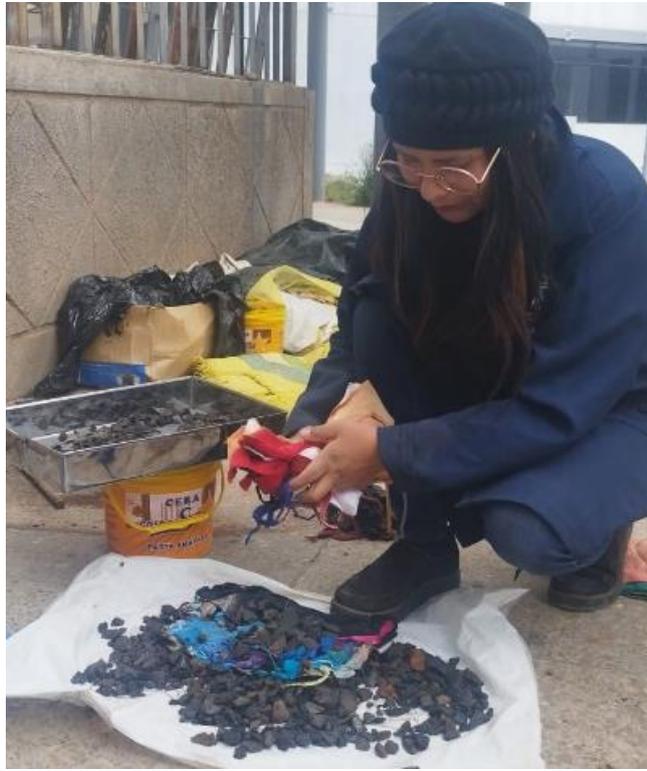


Figura 37

Medición de la temperatura



d. Resultados

A.- W de muestra

(gr)= 3086.0



B.- W de muestra saturada superficialmente seca (gr)=3099.0

C.- W de muestra saturada al interior del agua (gr)=2788.0

$$A_b = \frac{(B-A)}{A} * 100$$

ab.-porcentaje de absorción =0.42%

Del ensayo de porcentaje de Absorción de acuerdo a la MTC E 206 se obtuvo un valor de 0.42% de absorción; este valor se encuentra dentro del rango de requerimientos de la MTC (1.00% máximo para vías >3.000 m.s.n.m.)

3.5.6. Equivalente de arena MTC 114

a. Objetivo

Determinar la correlación entre arcillas y agregados finos.

b. Herramientas y suministros

- Probeta graduada de plástico con tapón de goma y tubo de irrigación.
- Horno capaz de mantener 105 °C
- Agua destilada
- Solución stock
- Cronometro
- Tamiz N°4
- Botella de 1.0 gln, para almacenar la solución stock más el agua oxigenada

c. Proceso

- Se obtuvo 1500 g de muestra mediante cuarteo, para luego pasarlo por el tamiz N°4.
- Se humedeció el material y tomo tres porciones con el recipiente medidor.
- En el cilindro graduado se introdujo las porciones de agregado fino y la solución stock.



- Golpee la base del cilindro para que salgan las burbujas de aire y conseguir una humectación completa.
- Se dejó durante 10 min para humedecerlos, terminado el tiempo se removió el material de fondo invirtiéndolo parcialmente.
- Se aseguro los cilindros graduados y se procedió al agitado manual en un desplazamiento horizontal de un lado a otro.
- El cilindro se sacudió 90 veces de ida y vuelta durante 30 segundos. Se repite esta operación con los demás cilindros.
- Se quita el tapón del cilindro y se procedió a la irrigación.
- Se inserto el tubo irrigador limpiando las paredes del cilindro conforme se iba bajando al fondo, se realizó punzonamientos y giros mientras fluía la solución por el tubo irrigador.
- Se empezó a subir el tubo irrigador tal que la medida del agua sea de 15 pulgadas.
- Se dejó sedimentando durante 20 min cada uno de los cilindros graduados y se procedió a la lectura de columna de arcilla.
- Luego se colocó un dispositivo pesado y lectura de arena.

Figura 38

Ensayo de equivalente de arena



Figura 39

Agitado manual



Figura 40

Lectura de la altura de la arena



d. Resultados

*Arena Chancada=50%

*Arena Natural=50%

SE: Arena equivalente $SE = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} * 100$

Tabla 24

Equivalente de arena

	Espécimen 1	Espécimen 2	Espécimen 3
Lectura de arena	3.5	3.7	3.5
Lectura de arcilla	3.7	4	3.7
Equivalente de arena	95	93	93
Equivalente de arena promedio		93	

Del ensayo de Equivalente de Arena de acuerdo a la MTC E 114 (MTC, Manual de ensayo de materiales, 2016) se obtuvo un valor de 93, que se interpreta como un 93 % de arena respecto al total de la muestra ensayada; este valor se encuentra dentro del rango de requerimientos de la MTC (70 para vías >3.000 m.s.n.m.)



3.5.7. Angularidad del agregado fino MTC E 222

a. Objetivo

Determinar el porcentaje de vacíos presente en el agregado fino levemente compactado. Esto se relaciona con la resistencia al ahuellamiento.

b. Herramientas y suministros

- Marco metálico
- Cilindro metálico
- Embudo
- Tamiz N°8 y N°200
- Brocha

c. Proceso

- Se tamizo el agregado fino por el N°8 y N°200, lo suficiente como para llenar el volumen del cilindro metálico conocido.
- Se tomo las medidas y peso el cilindro que contendrá las partículas de arena.
- Se coloco la arena en el embudo y luego este sobre el marco metálico.
- Se vertió la arena hasta que rebosara el cilindro.
- El material que quedó atrapado en el cilindro se pesó y se enrasó.

Figura 41

Muestra del agregado fino



Figura 42

Vertido de la arena en el embudo



d. Resultado

$$\%a = \frac{(\text{Volumen}_{\text{cilindro}} - \frac{W_{\text{arena}}}{\text{Densidad}})}{\text{Volumen}_{\text{cilindro}}} * 100$$

Peso del cilindro 1346 gr.

Peso del cilindro + arena 2074 gr.

Peso de la arena 728 gr.



volumen del cilindro	581.93 cm ³
Densidad	2.456 gr/cm ³
Angularidad de los finos	49.06%

El análisis de la angularidad se llevó a cabo en conformidad con el Manual de ensayo de materiales, (2016) y se obtuvo un valor de 49.06% de angularidad, el manual indica mínimamente 45% de angularidad para vías >3.000 m.s.n.m.

3.5.8. Azul metileno AASTHO TP 57

a. Objetivo

Determinar y cuantificar de una forma rápida la presencia de arcillas en los áridos en la construcción de carreteras.

b. Herramientas y suministros

- Papel filtro
- Azul metileno
- Agua destilada
- Matraz
- Jeringas
- Tamiz N°200

c. Proceso

- Se obtuvo 10g del agregado fino pasante del tamiz N°200.
- Se vertió 5ml de agua destilada, 10g de la muestra y 1.0ml de azul metileno.
- Se removió durante 1 minuto y se tomaba una muestra del matraz hacia el papel filtro.
- Se tomo una muestra por cada aumento de azul metileno, hasta obtener la vista de una areola en el papel filtro.

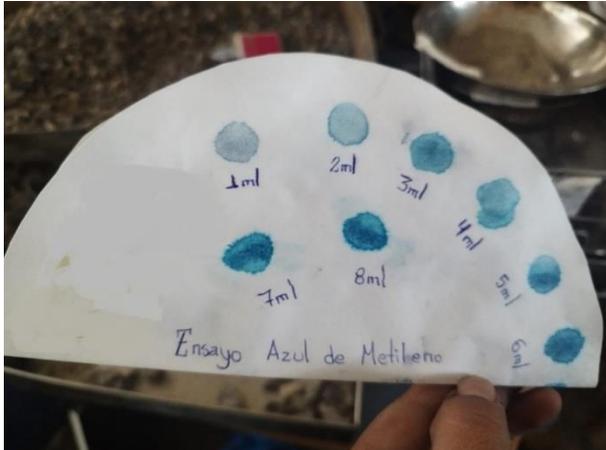
Figura 43

Mezclado del azul metileno, muestra y agua destilada



Figura 44

Resultado del ensayo de azul metileno



d. Resultados

Luego de mezclar 5ml de azul metileno con la muestra y agua destilada se logró observar una areola en el papel filtro; este valor se encuentra dentro del rango de los requerimientos de la MTC (8ml para vías >3.000 m.s.n.m.)



3.5.9. Sales solubles totales MTC E 219

a. Objetivo:

Conocer el contenido de sales y sulfatos en los agregados de aportación.

b. Herramientas y suministros:

- Balanza con precisión de 0.01%
- Cocina eléctrica
- Vasos precipitados
- Matraces aforados
- Agua destilada
- Tara

c. Proceso:

- Se tomo 500 gramos de grava y 100 gramos de arena, de acuerdo al manual de materiales.
- Se introdujo la muestra en un vaso de precipitados, se añadió el agua hasta que alcanzó los 3 cm por encima del ras del agregado y, a continuación, fue calentada hasta el punto de hervir.
- Se agito durante 1 minuto cada 2 a 3 minutos.
- Se decanto el líquido del vaso hasta que quedara transparente, el líquido decantado se pasó a otro vaso precipitado
- Se hizo el pesado de la tara M-08 para luego agregarle el agua decantada hasta que este se evaporara, finalmente se obtuvo un segundo peso de la tara con las sales retenidas.

Figura 45

Decantado del liquido



Figura 46

Pesado de las sales retenidas



d. Resultados

$$SALES SOLUBLES (\%) = \frac{1}{\frac{C * A}{D * B} - 1} * 100$$



A.- Peso de la muestra seca	105.27 gr.
B.- Volumen de matraz aforado	78.5 ml
C. Volumen en alícuota	50.00 ml
D. Peso de la masa en la alícuota	0.11
Sales solubles totales (%) =	0.2%

3.5.10. Absorción de los agregados finos-MTC E 205

a. Objetivo

Determinar la absorción del agregado fino luego de sumergirlo 24 horas al agua. Esta característica nos señala la cantidad agua que absorbe los poros de una partícula de agregado mineral.

b. Herramientas y suministros

- Balanza con precisión de 0.1g
- Estufa eléctrica
- Materiales
- Frasco volumétrico de 500 cm³
- Molde cónico metálico de 40mm de diámetro
- Varilla para metálica apisonado

c. Proceso

- Se cuarteo 1kg de arena natural y 1kg de arena chancada para dejarlo sumergido en agua durante 24 horas.
- Luego se extrajo el agua evitando la pérdida de las partículas finas; se extendió la muestra sobre una superficie plana para su secado superficial.
- Se seco hasta que luego de 25 golpes dentro del molde cónico y al levantarlo este se derrumbe.

- Se introdujo 500 g de muestra preparada y agua a 25°C hasta la marca de 500 cm³.
- Se agito el frasco manualmente y con la extractora de vacíos para la eliminación de burbujas de aire aproximadamente durante 15 minutos.
- Una vez eliminada las burbujas de aire se pesó el frasco con agregado y agua a 25°C.
- Se extrajo toda el agua en una tara para secar el material en un horno y se determinó el peso seco.

Figura 47

Levantado del molde cónico



Figura 48

Introducción del agregado fino más agua a 25°C



d. Resultado

Datos: $A_b = \frac{(500-G)}{G} * 100$

Tabla 25

Datos absorción

A. W de la muestra preparada	500	(gr)
B. W del picnómetro	158.16	(gr)
C. W del picnómetro + agua + muestra preparada	955.28	(gr)
D. W del agua	297.12	(gr)
E. W de la muestra secada al horno + tara	568.45	(gr)
F. W de la tara	70.14	(gr)
G. W de la muestra secada al horno	498.31	(gr)
H. Volumen del frasco	500	(cm ³)
ab.-Porcentaje de absorción	0.34	%
Pe.-Peso específico de la muestra	2.456	gr/cm³



3.6. ENSAYOS A LAS BRIQUETAS DE ASFALTO

3.6.1. Preparación de las briquetas MTC 504

a. Objetivo

Elaborar briquetas de mezcla asfáltica para el análisis de los parámetros

b. Herramientas y suministros

- Asfalto 120-150.
- Piedra chancada
- Arena chancada
- Arena natural
- Filler (cemento puzolánico)
- Espátula
- Balanza
- Cocina
- Horno
- Termómetro
- guantes
- Contenedor para el calentado de agregados y asfalto.
- Moldes para ensamblado (placa de base, molde y collarín).
- Martillo de compactación
- Extractor de briquetas

c. Proceso

- Se tomo una muestra de agregados con un peso de acuerdo al diseño.
- Se calentó los agregados nuevos y asfalto a 150 °C en el horno.
- Se calentó los moldes de ensamblado.

- Se vertió los agregados en un recipiente y el asfalto de acuerdo al porcentaje de estudio.
- Se mezcló en el recipiente hasta lograr una mezcla homogénea.
- Se vertió la mezcla a los moldes, chuseo y se compactó con 75 golpes en ambas caras.
- Se dejó enfriar durante 3 horas aproximadamente para desmoldarlos y extraer la briqueta de asfalto.

Figura 49

Vertido de los agregados y asfalto al recipiente



Figura 50

Vertido de la mezcla de asfalto en el molde



d. Proporciones de la mezcla patrón de acuerdo al método analítico

Figura 51

Sistema lineal de ecuaciones

$$\begin{cases} a_{1,1}x_1 + a_{1,2}x_2 + \dots + a_{1,n}x_n & = & b_1 \\ a_{2,1}x_1 + a_{2,2}x_2 + \dots + a_{2,n}x_n & = & b_2 \\ & \vdots & \vdots \\ a_{m,1}x_1 + a_{m,2}x_2 + \dots + a_{m,n}x_n & = & b_m \end{cases}$$

Fuente: (Wikipedia, 2023)

Donde:

b_1, b_2, b_3, b_m , es el promedio de los rangos de la gradación MAC-1

X_1, X_2, X_3, X_m , es la proporción a usar para la mezcla

$a_{11}, a_{21}, a_{31}, \dots a_{m1}$, es el valor de granulometría de la piedra chancada

$a_{13}, a_{23}, a_{33}, \dots a_{m3}$, es el valor de granulometría de la arena chancada.

$a_{14}, a_{24}, a_{34}, \dots a_{m4}$, es el valor de granulometría de filler.

Generamos 4 ecuaciones lineales con respecto a los tamices de N°4, N°40,

N°200

$$0 * X_1 + 84.6 * X_2 + 90.6 * X_3 + 100 * X_4 = 48.5$$

$$0 * X_1 + 43.6 * X_2 + 13.6 * X_3 + 100 * X_4 = 19.5$$

$$0 * X_1 + 13.4 * X_2 + 0.8 * X_3 + 88.9 * X_4 = 6$$

Del sistema de ecuación anterior se obtiene los valores de:

$$X_2=0.356, X_3=0.181 \text{ y } X_4=0.016$$

De la primera ecuación $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1$

$$X_1=0.447$$

Redondeando los valores, obtenemos las proporciones:

$$X_1=45\%, X_2=35\%, X_3=18\% \text{ y } X_4=2\%$$

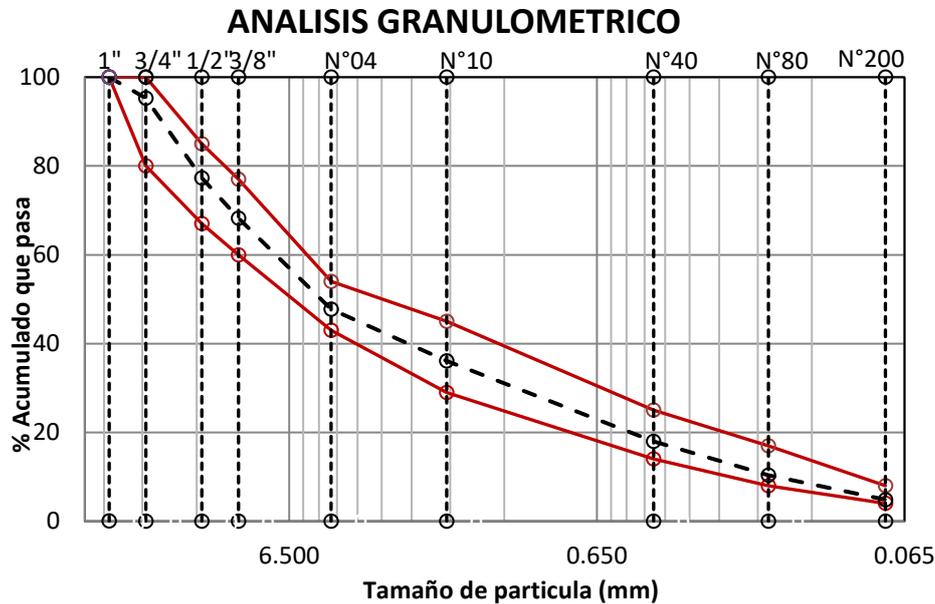
Tabla 26

Granulometría-mezcla patrón

Tamiz	Piedra	Arena	Arena	filler	%	Especificaciones		
pulg.	Chancada	Chancada	Zarandeada	2%	Que	Gradación: MAC - 1		
mm.	45%	35%	18%	Pasa				
1"	25.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	
3/4"	19.000	89.4	100.0	100.0	95.2	80	100	
1/2"	12.500	49.6	100.0	100.0	77.3	67	85	
3/8"	9.500	29.5	100.0	100.0	68.3	60	77	
N°04	4.750	0.0	84.6	90.6	100.0	47.7	43	54
N°10	2.000	0.0	60.1	75.3	100.0	36.1	29	45
N°40	0.425	0.0	43.6	13.6	100.0	18.0	14	25
N°80	0.180	0.0	28.0	2.6	100.0	10.3	8	17
N°200	0.075	0.0	13.4	0.8	100.0	4.9	4	8
< N° 200	FONDO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Figura 52

Gradación MAC 1 – mezcla patrón



e. Proporciones de la mezcla con un 40% de reciclado

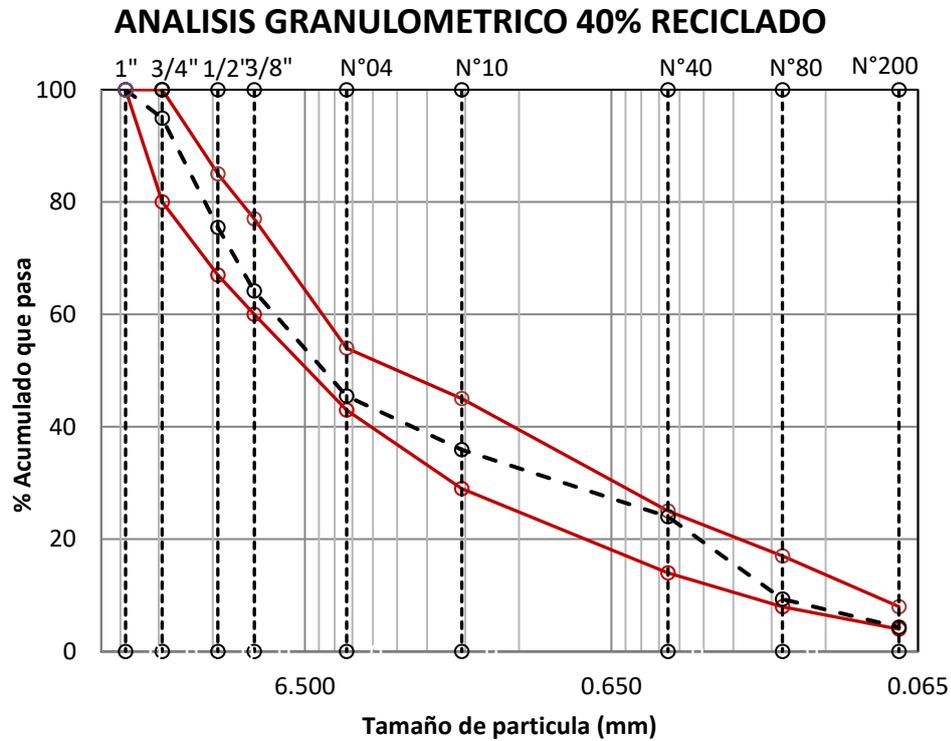
Tabla 27

Granulometría compuesta por 40% de reciclado y 60% agregado nuevo

Tamiz	MBR	Piedra 1/2"	Arena Chancada	Arena Zarandeada	filler	% Que Pasa	Especificaciones
pulg.	mm.	40%	5%	5%	2%	Pasa	Gradacion:MAC- 1
1"	25.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100
3/4"	19.000	100.0	89.4	100.0	100.0	94.9	80
1/2"	12.500	99.2	49.6	100.0	100.0	75.5	67
3/8"	9.500	95.1	29.5	100.0	100.0	64.2	60
N°04	4.750	86.8	0.0	84.6	90.6	100.0	43
N°10	2.000	67.9	0.0	60.1	75.3	100.0	29
N°40	0.425	47.9	0.0	43.6	13.6	100.0	14
N°80	0.180	14.6	0.0	28.0	2.6	100.0	8
N°200	0.075	4.0	0.0	13.4	0.8	100.0	4
<N°200 FONDO		0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3

Figura 53

Gradación MAC 1- 40% reciclado



f. Proporciones de la mezcla con un 50% de reciclado

Tabla 28

Granulometría compuesta por 50% de reciclado y 50% agregado nuevo

Tamiz	MBR	Piedra 1/2"	Arena Chancada	Arena Zarandeada	filler	% Que Pasa	Especificaciones
pulg.	mm.	50%	30%	3%	2%		Gradación: MAC - 1
1"	25.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100 100
3/4"	19.000	99.2	89.4	100.0	100.0	96.4	80 100
1/2"	12.500	95.1	49.6	100.0	100.0	82.4	67 85
3/8"	9.500	86.8	29.5	100.0	100.0	72.2	60 77
N°04	4.750	67.9	0.0	84.6	90.6	51.4	43 54
N°10	2.000	47.9	0.0	60.1	75.3	37.2	29 45
N°40	0.425	14.6	0.0	43.6	13.6	16.2	14 25

Tamiz	MBR	Piedra 1/2"	Arena Chancada	Arena Zarandeada	filler	% Que Pasa	Especificaciones
pulg.	mm.	50%	30%	15%	3%	2%	Gradación: MAC - 1
Nº80	0.180	4.0	0.0	28.0	2.6	100.0	8 17
Nº200	0.075	0.6	0.0	13.4	0.8	100.0	4 8
<Nº200	FONDO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Figura 54

Gradación MAC 1- 50% reciclado

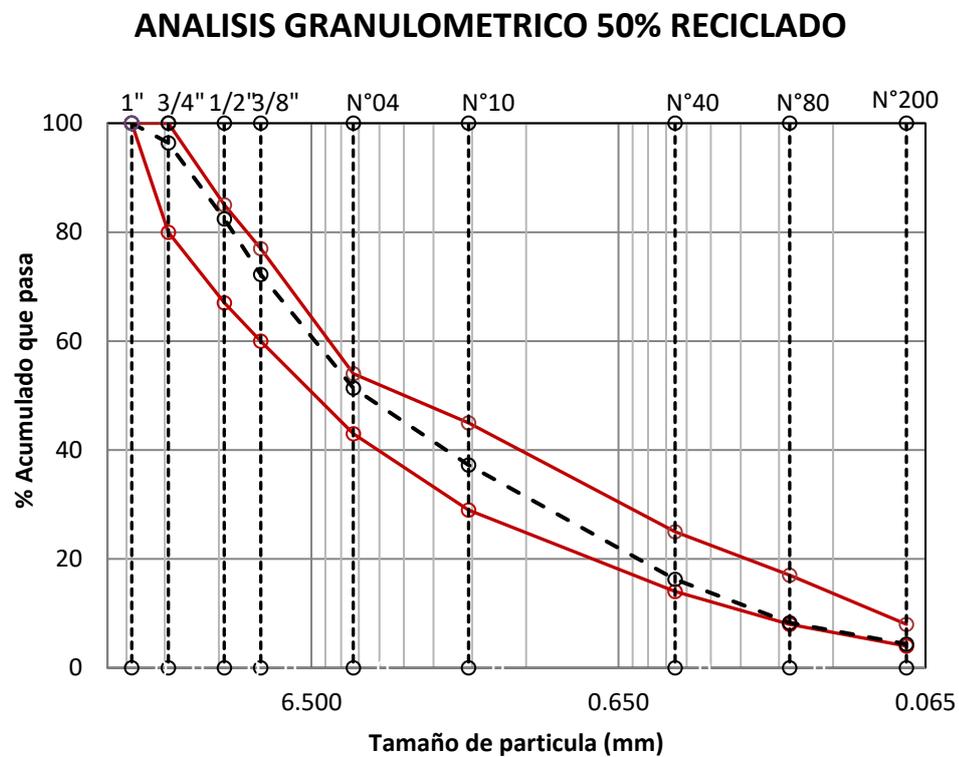


Tabla 29

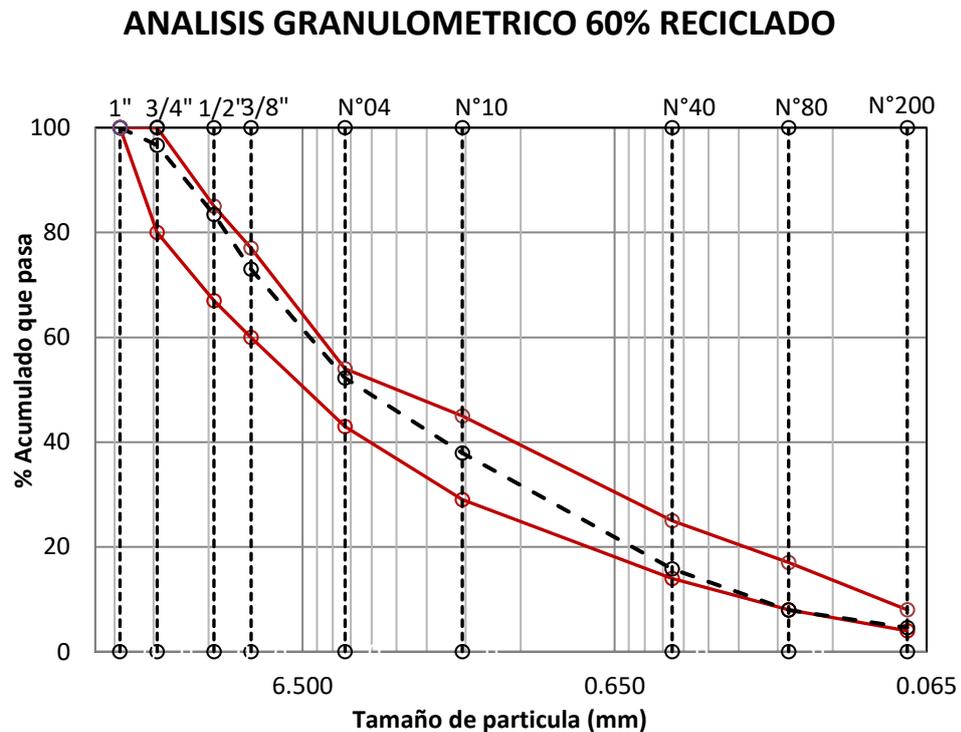
Granulometría compuesta por 60% de reciclado y 40% agregado nuevo

Tamiz	MBR	Piedra 1/2"	Arena Chancada	Arena Zarandeada	filler	% Que Pasa	Especificaciones
pulg.	mm.	60%	27%	9%	1%	3%	Gradación: MAC - 1
1"	25.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100 100
3/4"	19.000	99.2	89.4	100.0	100.0	100.0	80 100
1/2"	12.500	95.1	49.6	100.0	100.0	100.0	67 85

Tamiz	MBR	Piedra 1/2"	Arena Chancada	Arena Zarandeada	filler	% Que Pasa	Especificaciones
pulg.	mm.	60%	27%	9%	1%	3%	Gradación: MAC - 1
3/8"	9.500	86.8	29.5	100.0	100.0	100.0	60 77
Nº04	4.750	67.9	0.0	84.6	90.6	100.0	43 54
Nº10	2.000	47.9	0.0	60.1	75.3	100.0	29 45
Nº40	0.425	14.6	0.0	43.6	13.6	100.0	14 25
Nº80	0.180	4.0	0.0	28.0	2.6	100.0	8 17
Nº200	0.075	0.6	0.0	13.4	0.8	100.0	4 8
< Nº 200	FONDO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Figura 55

Gradación MAC 1- 60% reciclado



3.6.2. Peso específico Bulk para mezclas asfálticas densas – MTC 514

a. Objetivo:

Calcular la proporción de espacios vacíos presentes en las briquetas asfálticas.

b. Herramientas y suministros

- Balanza
- Cesta de malla con alambre
- Fuente de agua
- Termómetro
- Franela

c. Proceso

- Una vez fríos las briquetas de asfalto se procedió a la medida y pesado de cada uno.

Figura 56

Medidas y pesado de las briquetas



- Se sumergió las briquetas de asfalto en un baño de agua a 25°C durante 15 min.
- Transcurrido los 15 min se registró el peso sumergido de las muestras
- Se seco las muestras con una franela para eliminar el agua superficial, con esto se obtuvo un peso superficialmente seco.

Figura 57

Peso específico Bulk



3.6.3. Peso específico teórico máximo MTC E 508

a. Objetivo

Determinar el peso específico teórico máximo

b. Herramientas y suministros

- Picnómetro de pared gruesa tipo A (metal)
- Bascula
- Bomba de vacío
- Manómetro de vacío
- Temperatura
- Motor para la bomba de vacío

c. Proceso

- Se peso el picnómetro con tapa.
- Se peso el picnómetro rebosado con agua a 25 °C. Como dato para los cálculos.

- Se colocó la briqueta asfáltica en el picnómetro y se vertió el agua a temperatura de 25 °C hasta que cubriera totalmente la briqueta 4 cm por encima.
- Se colocó el picnómetro en el extractor de vacío durante media hora, para remover el aire atrapado.
- Posteriormente se vertió agua a 25°C hasta llenar el picnómetro evitando introducir aire.

Figura 58

Ensayo Bulk

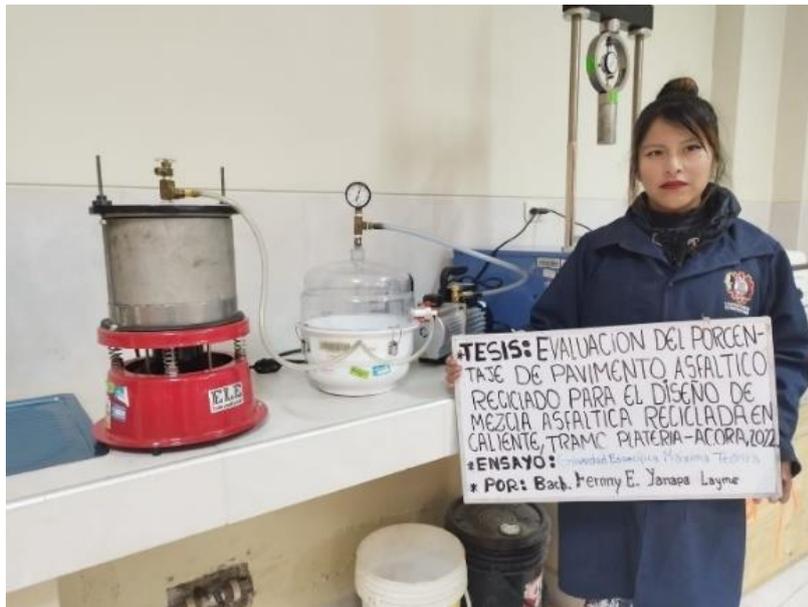


Figura 59

Pesado del picnómetro más la briqueta cubierta de agua



- Se realizó un peso del picnómetro conteniendo una briqueta llena de agua y su tapa. El proceso se repitió para cada una de las muestras.

3.7. ENSAYO MARSHALL MTC 504

a. Objetivo:

Llevar a cabo el ensayo Marshall para evaluar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas y determinando su resistencia. Este ensayo proporciona información relevante para el diseño y control de calidad de pavimentos asfálticos.

b. Herramientas y suministros:

- Equipo Marshall
- Dispositivo de carga

- Baño de agua
- Termómetro
- Horno
- Mordazas
- Guantes

c. Proceso:

- Se dejó las muestras en baño agua maría durante 30 minutos a 60°C.
- Las mordazas también se calentaron a 60°C
- Una vez extraído las briquetas se secó con una toalla el agua y coloco en las mordazas sujetándolas firmemente con la otra mordaza. La manipulación desde la extracción fue menor a 30 segundos.
- Se coloco la briqueta en la maquina Marshall para aplicarle la carga hasta su falla, se registró la lectura del manómetro de estabilidad y fluencia.

Figura 60

Ensayo Marshall





CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LOS AGREGADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

Tabla 30

Cuadro de resultados vs requerimientos de los agregados

Agregados nuevos

	Ensayo	Resultado obtenido en laboratorio	Requerimiento >3.000 msnm
Agregado grueso (piedra-chancada)			
Desgaste de los Ángeles	MTC E 207	23.90%	35% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	ASTM D 4791	7.53%	10% máx.
Caras Fracturadas	MTC E 210	94/92	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.04%	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	0.42%	1.0% máx.
Agregado fino			
Equivalente de Arena	MTC E 114	93	70
Angularidad - arena natural	ASTM D 1252	49.06	45% min.
Azul Metileno	AASTHO TP 57	8	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	N.P.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.2%	0.5% máx.
Absorción (arena chancada)		0.34%	
Absorción (natural)	MTC E 205	0.16%	0.5% máx.

Material reciclado

	Ensayo	Resultado obtenido en laboratorio	Requerimiento >3.000 msnm
AGREGADO GRUESO			
Abrasión los Ángeles MTC	MTC E 207	24.04%	25% max.
Partículas Fracturadas	MTC E 210	93/84	85/70
Partículas Chatas y Alargadas	ASTM D 4791	7.48%	10% max.

La tabla 30 contiene el resumen de resultados que se obtuvieron de los agregados de aportación y los agregados que fueron obtenidos del material reciclado, verificándose que si cumplen con las características necesarias dadas en la tabla 3 y tabla 4.

4.2. RESULTADOS DEL PAVIMENTO ASFALTICO RECICLADO

Tabla 31

Porcentaje de asfalto del pavimento reciclado

Muestra	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Peso inicial	Peso final	% Asfalto
			de filtro (gr)	de filtro (gr)	
asfalto reciclado	2,213.00	2088.60	15.32	18.64	5.77%

Del ensayo de extracción cuantitativa del asfalto se obtiene como resultado un 5.77% de asfalto en una muestra de 2,213.00 gr.

En la tesis de Balvin y Chochon (2019) obtiene como resultado de su carpeta asfáltica reciclada un 3.0% de cemento asfáltico.

En la tesis de Rengifo y Vargas (2017) en su tesis “Análisis comparativo entre pavimento flexible convencional y pavimento flexible reciclado en las cuadras 1 - 29 de la avenida La Paz San Miguel – Lima” obtienen un 5.60% de asfalto en su pavimento reciclado. Por lo tanto, la muestra del tramo Platería -Acora aun contiene un asfalto envejecido considerable.

Tabla 32

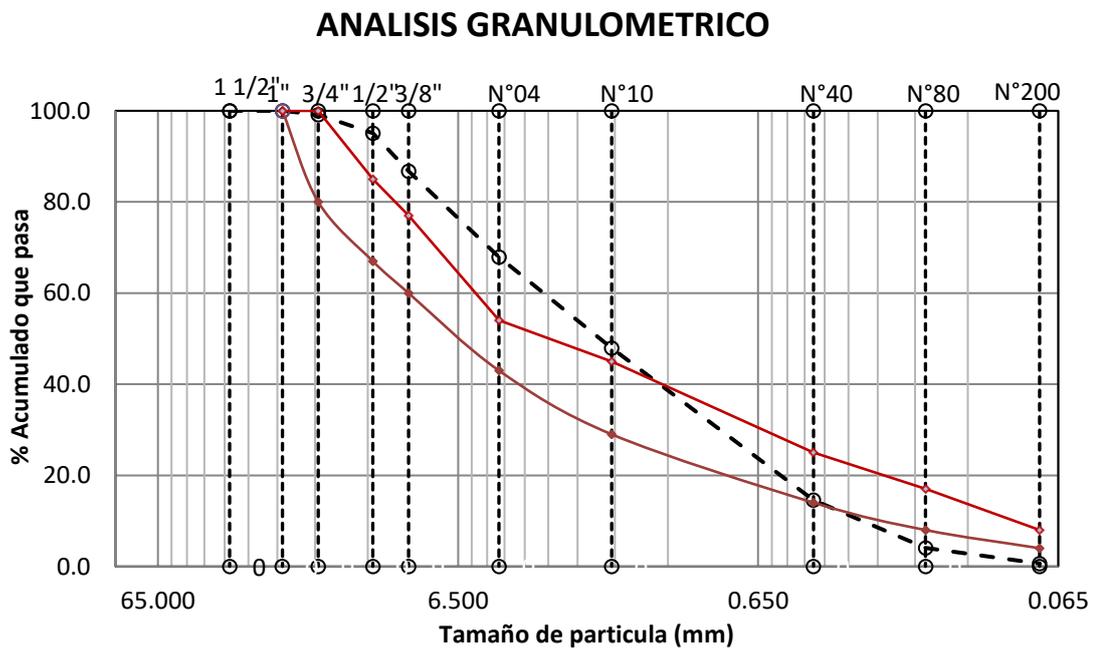
Granulometría del pavimento reciclado

Tamiz	Peso	Porcentaje	% Ret.	%	
pulg.	mm.	Contenido	Retenido	Pasante	
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100.0

Tamiz	Peso	Porcentaje	% Ret.	%	
pulg.	mm.	Contenido	Retenido	Acumulado	Pasante
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	17.7	0.8	0.8	99.2
1/2"	12.500	85.0	4.1	4.9	95.1
3/8"	9.500	173.2	8.3	13.2	86.8
N°04	4.750	394.8	18.9	32.1	67.9
N°10	2.000	417.0	20.0	52.1	47.9
N°40	0.425	696.6	33.4	85.4	14.6
N°80	0.180	219.9	10.5	96.0	4.0
N°200	0.075	70.8	3.4	99.4	0.6
< N° 200	FONDO	13.5	0.6	100.0	0.0

Figura 61

Análisis granulométrico del pavimento reciclado



La Figura 61 muestra la curva granulométrica dentro de MAC-1, dado que su partícula de mayor tamaño encontrado en su granulometría es de 3/4". También se observa la falta de material retenido en el tamiz 3/4", 1/2", 3/4" y 3/8" y en el tamiz 80 y 200.

4.3. RESULTADOS DE LA MEZCLA ASFALTICA PATRON

Tabla 33

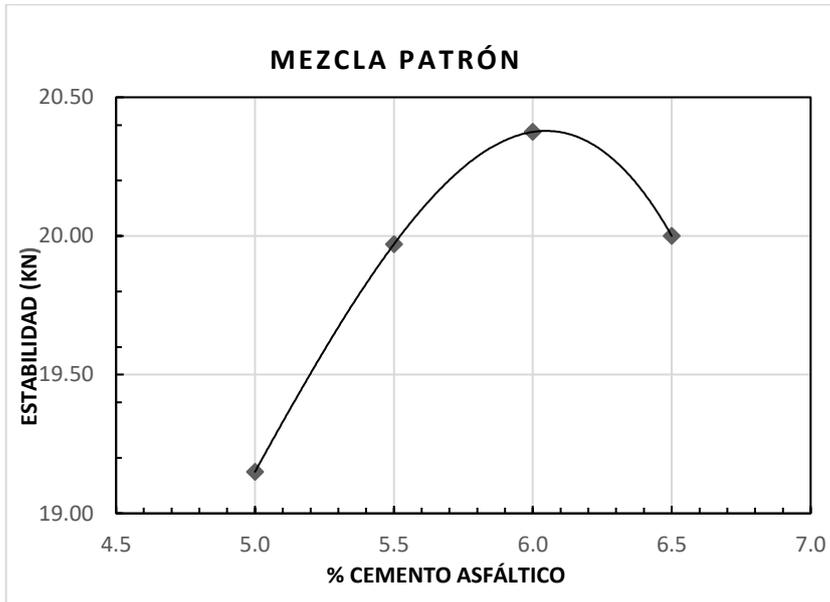
Resultados de la mezcla patrón

% cemento asfáltico	Estabilidad		Fluencia		% de vacíos		
	Divisiones	kn	promedio	fluencia	promedio	% de vacíos	promedio
5.0	585	19.04		10		3.929	
	590	19.20	19.15	10	10.33	4.621	4.294
	592	19.26		11		4.331	
5.5	618	20.10		11		3.593	
	615	20.00	19.97	11	11.00	3.881	3.620
	610	19.84		11		3.386	
6.0	625	20.33		13		1.610	
	630	20.49	20.38	12	13.33	1.407	1.608
	628	20.42		15		1.807	

De acuerdo a la tabla 1 se requiere 8.15 KN de estabilidad mínimamente, 8-14 de flujo y 3-5% de vacíos. Los resultados de 12 briquetas de ensayo se presentan en la tabla 28, indicando que el porcentaje óptimo de asfalto es del 5.5% para un diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional.

Figura 62

Gráfico de estabilidad



Nota: Se obtuvo una estabilidad de 19.97 KN para un 5.5% de asfalto.

Figura 63

Gráfico de fluencia -mezcla patron

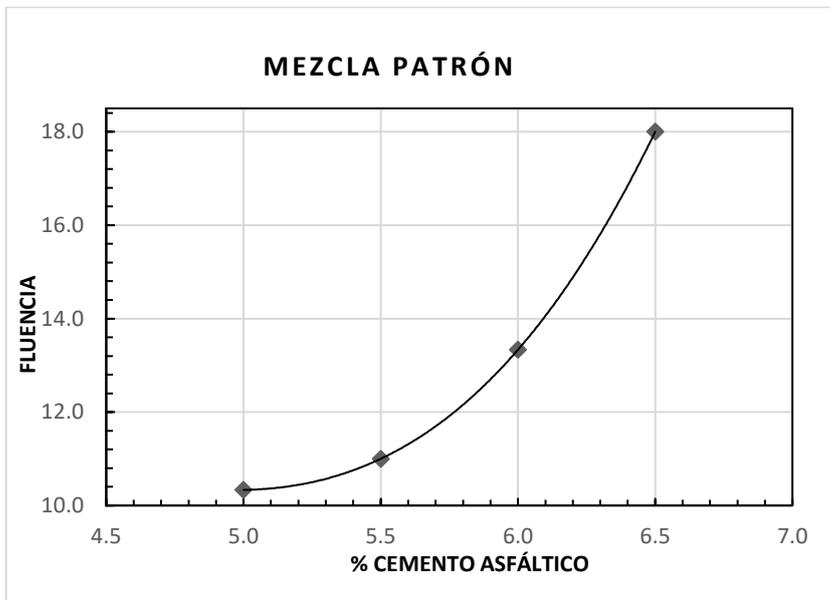
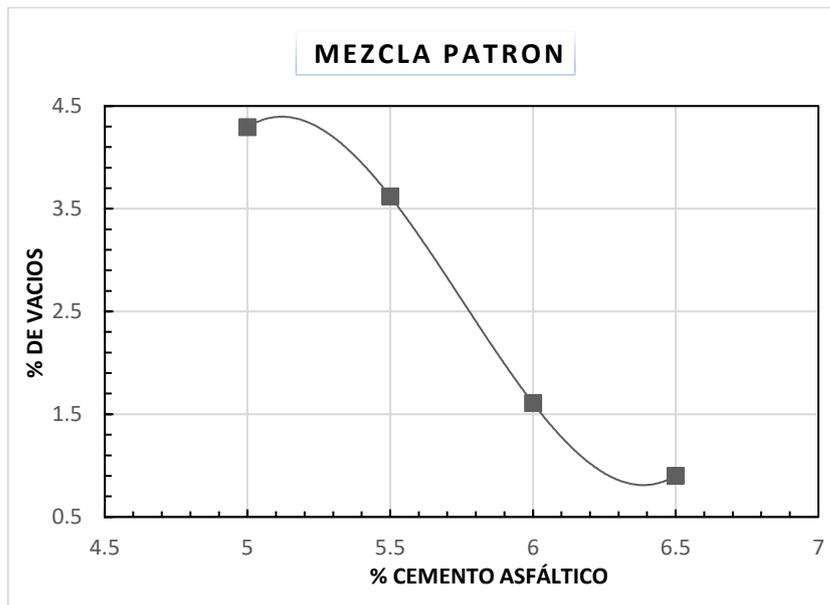


Figura 64

Gráfico del % de vacíos-mezcla patrón



En la Figura 62, 63 y 64 se observan los gráficos de estabilidad, fluencia y porcentaje de vacíos respectivamente visualizados en eje Y, los porcentajes de asfalto usados son 4,5%, 5.0%, 6.0% y 6.5% visualizados en el eje X.

4.4. RESULTADOS DE LA MEZCLA ASFALTICA RECICLADA

4.4.1. Diseño con 40% de pavimento reciclado

Tabla 34

Resultados del agregado nuevo más 40% de reciclado

% DE			
ASFALTO RECICLADO	% DE ASFALTO NUEVO	ESTABILIDAD	FLUENCIA
	3.0%	19.49	10.50
40%	3.5%	20.18	11.50
	4.0%	18.31	13.50

La tabla 34 evidencia que a mayor incremento de asfalto nuevo; la estabilidad llega hasta un máximo de 20.18 KN y luego empieza a decrecer, la

fluencia para un 4.0% de asfalto nuevo se encuentra al límite del requerimiento de la normativa. Por lo que, para un 40% de pavimento reciclado su porcentaje óptimo de asfalto es 3.5% cumpliendo con los requerimientos de la normatividad.

Figura 65

Estabilidad con 40% de reciclado

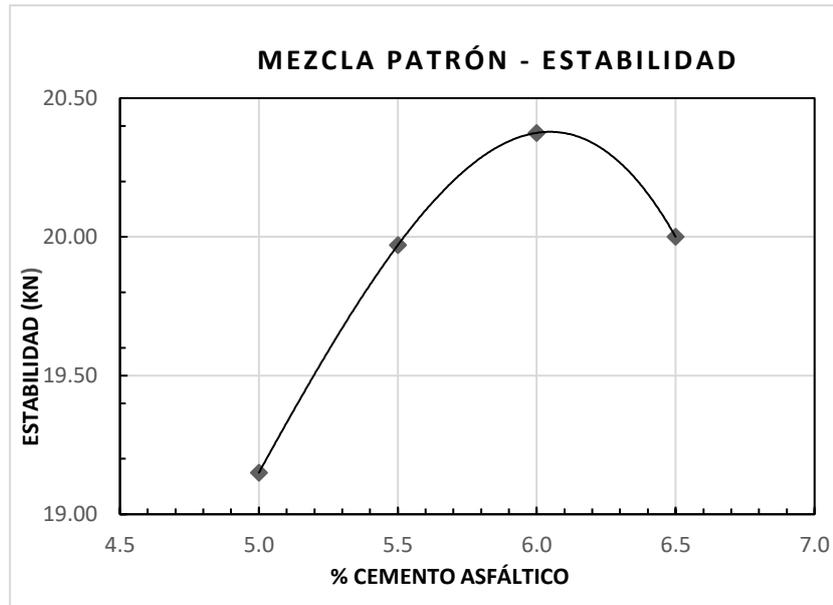


Figura 66

Fluencia con 40% de reciclado

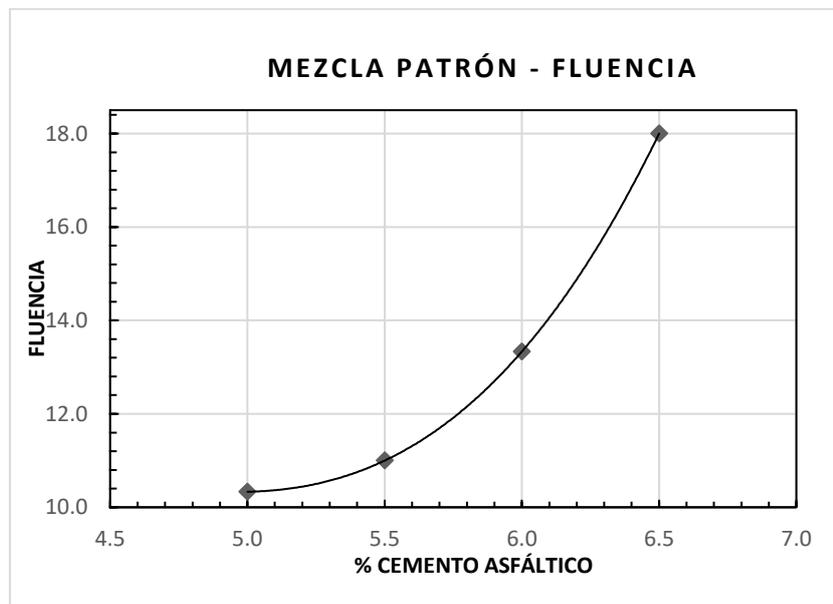
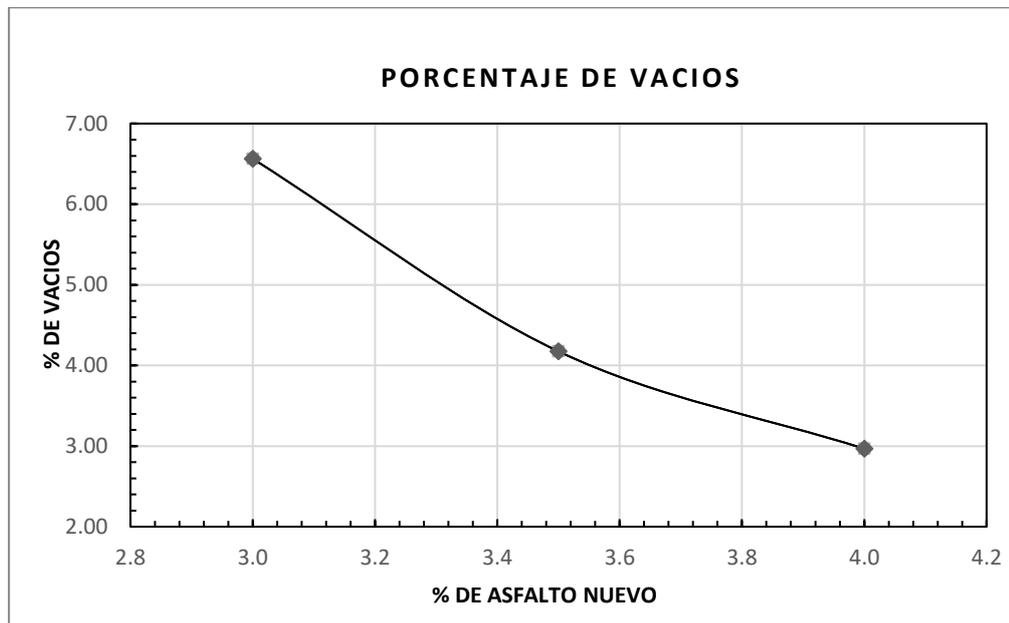


Figura 67

Porcentaje de vacíos con 40% reciclado



La Figura 65, 66 y 67 muestran los gráficos de estabilidad, fluencia y porcentaje de vacíos respectivamente visualizados en el eje Y, los porcentajes de asfalto usados son 4,5%, 5.0%, 6.0% y 6.5% visualizados en el eje X.

4.4.2. Diseño con 50% de pavimento reciclado

Tabla 35

Resultados del agregado nuevo más mezcla reciclada en 50%

% DE ASFALTO REICLADO	% DE ASFALTO NUEVO	ESTABILIDAD	FLUENCIA
	3.0%	23.96	12.00
50%	3.5%	24.12	13.00
	4.0%	22.37	14.50

La tabla 35 evidencia que a mayor incremento de asfalto nuevo; la estabilidad llega hasta 24.12 KN y luego empieza a decrecer, la fluencia para un

4.0% de asfalto nuevo se excede de los requerimientos de la normativa. Por lo que, para un 50% de pavimento reciclado su porcentaje óptimo de asfalto es 3.5% cumpliendo con los requerimientos de la normativa.

En la tesis de Paiva y Ramos (2014), titulado “reciclado de pavimentos asfálticos y su reutilización para el diseño de mezcla de asfalto en caliente” evaluado para un 50% de pavimento reciclado obtuvieron 19.71 KN de estabilidad, 10 mm de fluencia y un contenido de 5.5% de asfalto nuevo óptimo. Se logra observar que en ambos casos cumplen con la normativa.

Figura 68

Estabilidad con 50% reciclado

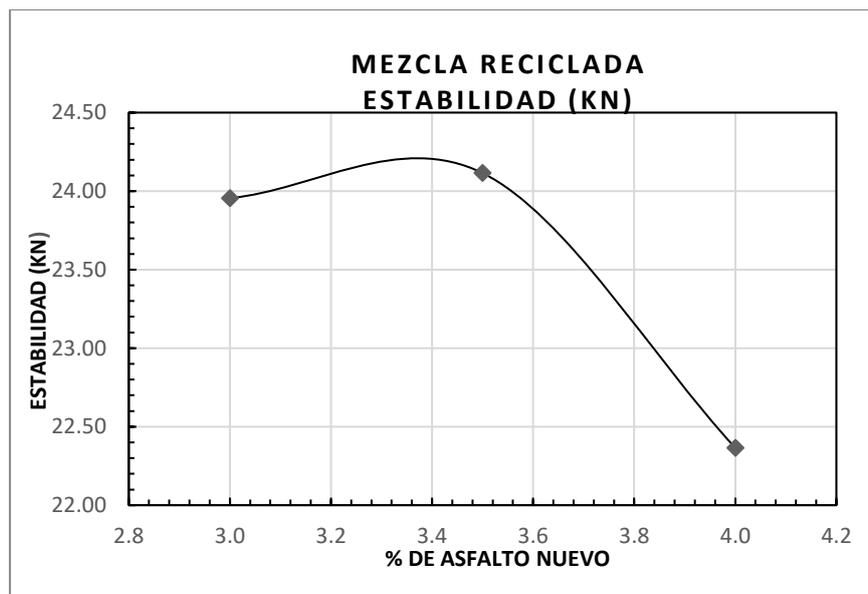


Figura 69

Fluencia con 50% reciclado

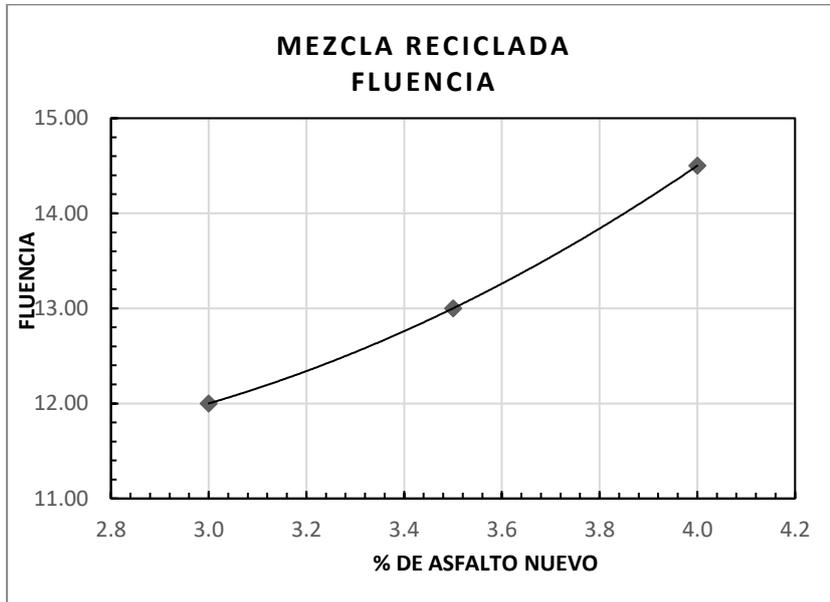
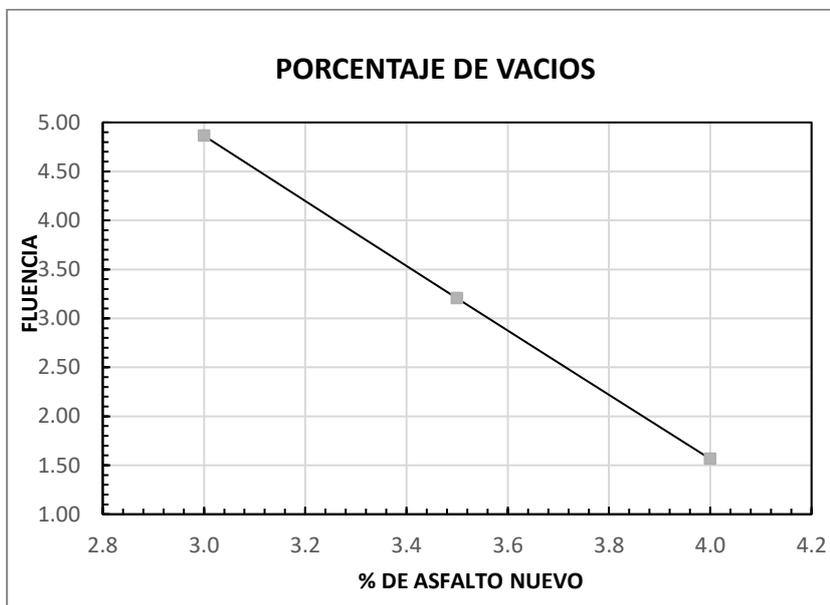


Figura 70

Porcentaje de vacíos con 50% reciclado



4.4.3. Diseño con 60% de pavimento reciclado

Tabla 36

Granulometría compuesta por 60% de reciclado, 40% agregado nuevo

tamiz	MBR	pedra	arena	arena	filler	%	especificaciones	
pulg.	mm.	60%	1/2"	chancada	natural	que	gradación: mac - 1	
			27%	9%	1%	3%	pasa	
1"	25.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100
3/4"	19.000	99.2	89.4	100.0	100.0	100.0	96.6	80
1/2"	12.500	95.1	49.6	100.0	100.0	100.0	83.4	67
3/8"	9.500	86.8	29.5	100.0	100.0	100.0	73.0	60
N°04	4.750	67.9	0.0	84.6	90.6	100.0	52.3	43
N°10	2.000	47.9	0.0	60.1	75.3	100.0	37.9	29
N°40	0.425	14.6	0.0	43.6	13.6	100.0	15.8	14
N°80	0.180	4.0	0.0	28.0	2.6	100.0	8.0	8
N°200	0.075	0.6	0.0	13.4	0.8	100.0	4.6	4
<N°200	FONDO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8

Figura 71

Gradación mac-1 con 60% reciclado

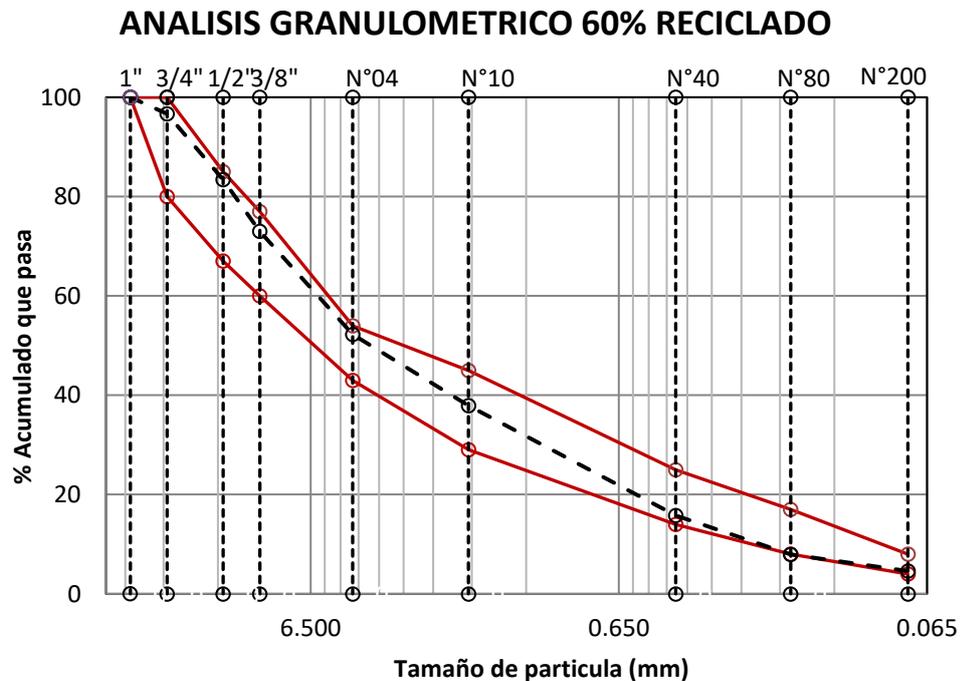


Tabla 37

Resultados del agregado nuevo más mezcla reciclada en 60%

% DE ASFALTO RECICLADO	% DE ASFALTO NUEVO	ESTABILIDAD	FLUENCIA
	3.0%	19.89	14.50
60%	3.5%	22.06	16.00
	4.0%	20.47	17.00

La tabla 37 contiene resultados para un 3.0%, 3.5% y 4.0% de adición de asfalto nuevo; la estabilidad llega hasta un máximo de 22.06 KN y luego empieza a decrecer, la fluencia se excede a los requerimientos para todos los casos de porcentaje de asfalto nuevo. Por lo que, para un 60% de pavimento reciclado no se puede reciclar.

En la tesis Paiva y Ramos (2014), “Reciclado de pavimentos asfálticos y su reutilización para el diseño de mezcla de asfalto en caliente” evaluado para un 60% de pavimento reciclado con asfalto nuevo al 5.5%, 6.0% y 6.5%, la fluencia resulta 6mm,7mm y 7.5mm respectivamente. Por lo tanto, no cumple con los requerimientos. En ambos casos no se puede reciclar debido al exceso y deficiencia de la fluencia.

Figura 72

Estabilidad con 60% reciclado

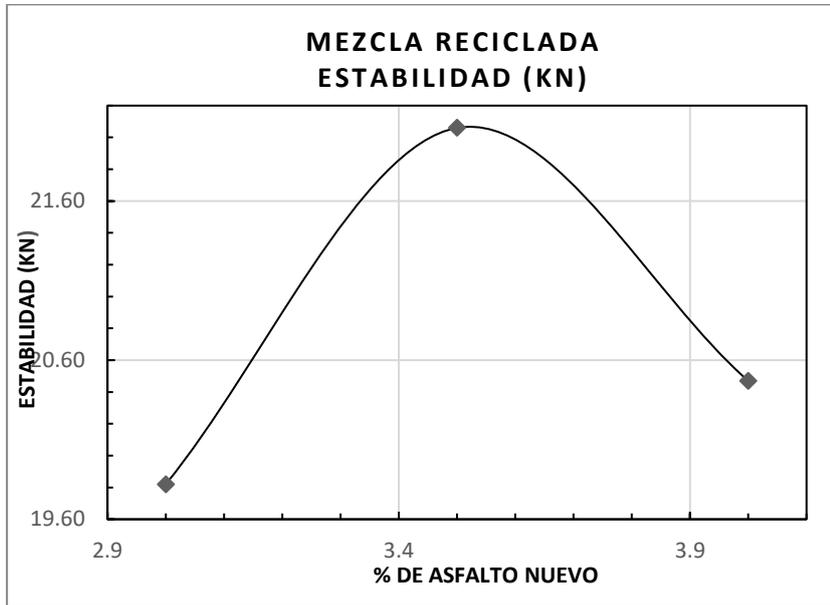


Figura 73

Fluencia con 60% reciclado

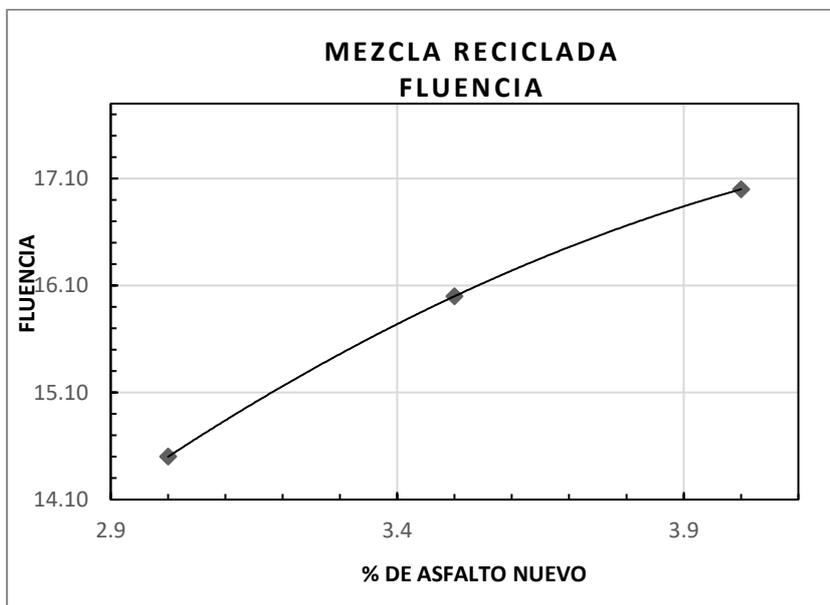
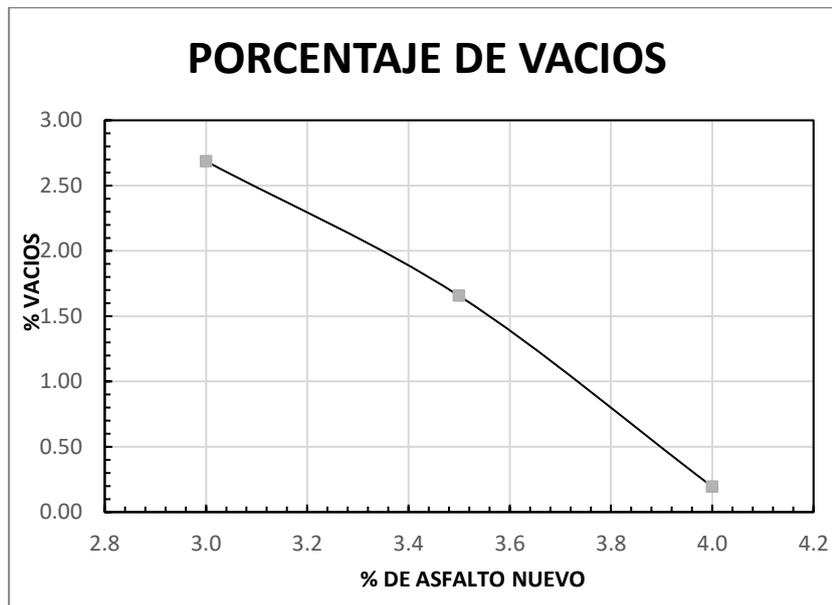


Figura 74

Porcentaje de vacíos con 60% reciclado



4.5. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

En el presente estudio se tiene datos menores a 50, es por ellos que opto por emplear la prueba estadística de Shapiro-Wilk. Asimismo, se estableció un nivel de confianza del 95% que es igual 0.05 de significancia.

El criterio de decisión aplicado es el siguiente:

- Si el P-valor < 0.05 : se respalda la hipótesis alterna.
- Si el P-valor > 0.05 : se respalda la hipótesis nula.

Los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indicaron que el P-valor obtenido es mayor a 0.05. En consecuencia, se procedió a emplear la estadística paramétrica mediante la prueba de correlación de Pearson.

4.5.1. Prueba de normalidad – Pavimento Reciclado

4.5.1.1. Hipótesis General

Tabla 38

Normalidad-hipótesis general

VARIABLE	SHAPIRO WILK		
	Estadístico	gl.	sig.
Estabilidad	0.801	3	0.117
Fluencia	1.000	3	1.000
Porcentaje de vacíos	0.969	3	0.661

Nota: Los resultados estadísticos fueron hallados por el programa SPSS.

- **Conclusión:** Dado que el valor de significancia es superior a 0.05, se acepta la hipótesis nula, lo que sugiere que los datos del pavimento reciclado al 40% siguen una distribución normal. En consecuencia, se opta por utilizar métodos estadísticos paramétricos.

4.5.1.2. Hipótesis Especifico 1

Tabla 39

Normalidad-hipótesis específica 1

VARIABLE	SHAPIRO WILK		
	Estadístico	gl.	sig.
Propiedades	0.938	3	0.521
Normatividad	0.928	3	0.481

Fuente: Los resultados estadísticos fueron hallados por el programa SPSS

Nota: Debido a que el P-valor (Sig.) es mayor que 0.05, se valida la hipótesis nula.

4.5.1.3. Hipótesis Especifico 2

Tabla 40

Normalidad-hipótesis especifica 2

VARIABLE	SHAPIRO WILK		
	Estadístico	gl.	sig.
reciclado	0.916	9	0.357
nuevo	0.900	9	0.253

Fuente: Los resultados estadísticos fueron hallados por el programa SPSS

Nota: Debido a que el P-valor (Sig.) es mayor que 0.05, se valida la hipótesis nula.

4.5.1.4. Hipótesis Especifico 3

Tabla 41

Normalidad-hipótesis especifica 3

VARIABLE	SHAPIRO WILK		
	Estadístico	gl.	sig.
costos	0.807	3	0.131

Fuente: Los resultados estadísticos fueron hallados por el programa SPSS

Nota: Debido a que el P-valor (Sig.) es mayor que 0.05, se valida la hipótesis nula.

4.5.2. Correlación de Pearson – Pavimento Reciclado

4.5.2.1. Pearson - Hipótesis General

Tabla 42

Pearson-hipótesis general

CORRELACION	r	sig.	N
porcentajes-parámetros	0.022	0.955	9

Fuente: Los resultados estadísticos fueron hallados por el programa SPSS

Nota: Debido a que el P-valor (Sig.) es mayor que 0.05, se valida la hipótesis nula.

- **Conclusión:** Dado que el valor de significancia es superior a 0.05, se respalda la hipótesis nula que sostiene el porcentaje total del pavimento

asfáltico reciclado será mayor o igual al 40% en el diseño de la mezcla asfáltica reciclada en caliente. El coeficiente de Pearson para pavimento reciclado al 40% es $r = 0.706$, y para 50% es $r = 0.806$, como se indica en la Tabla 41, revela una correlación positiva considerable para ambos porcentajes de pavimentos reciclados.

4.5.2.2. Pearson – Hipótesis específica 1

Tabla 43

Pearson-hipótesis específica 1

CORRELACIÓN	r	sig.	N
propiedades - normatividad	1.000	0.083	3

Fuente: Los resultados estadísticos fueron hallados por el programa SPSS

Nota: Debido a que el P-valor (Sig.) es mayor que 0.05, se valida la hipótesis nula.

4.5.2.3. Pearson - Hipótesis específica 2

Tabla 44

Pearson-hipótesis específica 2

CORRELACIÓN	r	sig.	N
reciclado - nuevo	0.986	0.081	9

Fuente: Los resultados estadísticos fueron hallados por el programa SPSS

Nota: Debido a que el P-valor (Sig.) es mayor que 0.05, se valida la hipótesis nula.

4.5.2.4. Pearson – Hipótesis específica 3

Tabla 45

Pearson-hipótesis específica 3

CORRELACIÓN	r	sig.	N
reciclado - nuevo	0.993	0.077	3

Fuente: Los resultados estadísticos fueron hallados por el programa SPSS

Nota: Debido a que el P-valor (Sig.) es mayor que 0.05, se valida la hipótesis nula.

4.6. DISCUSIÓN

Este estudio investigación se realizó con el propósito de evaluar el porcentaje de capa asfáltica reciclado para el diseño de mezcla asfáltica reciclada en caliente del tramo Platería – Acora. Para motivar el uso de esta técnica para la rehabilitación vial de dicho tramo.

4.6.1. Interpretación de los resultados de la subrasante

La subrasante tiene un CBR de 28%, que se encuentra dentro del rango de Subrasante como Muy Buena ($CBR \geq 20\%$ A $CBR < 30\%$). Por lo tanto, las patologías presentadas en la vía no se deben a la carencia de calidad del material de esta capa del pavimento.

4.6.2. Interpretación del diseño de mezcla convencional

Tabla 46

Resumen del diseño de mezcla asfáltica convencional

% de cemento asfáltico	Estabilidad	Fluencia	% de vacíos
5.00	19.15	10.33	4.29
5.50	19.97	11.00	3.62
6.00	20.38	13.33	1.61
6.50	20.00	18.00	0.90

En la formulación de una mezcla asfáltica convencional con la gradación MAC-1, se empleó un 45% de agregado grueso chancado, un 35% de arena obtenido del chancado, un 18% de arena natural, un 2% de filler y un 5.5% de asfalto nuevo. Este se encuentra en la lo que nos dio 19.97 KN de estabilidad, 11 de fluencia y un 3.62 % de vacíos; Estas propiedades de la combinación de

materiales asfáltica satisfacen los criterios básicos para una mezcla asfáltica en caliente según la tabla 1 MTC-EG 2013.

4.6.3. Interpretación del diseño de mezcla asfáltica reciclada

Tabla 47

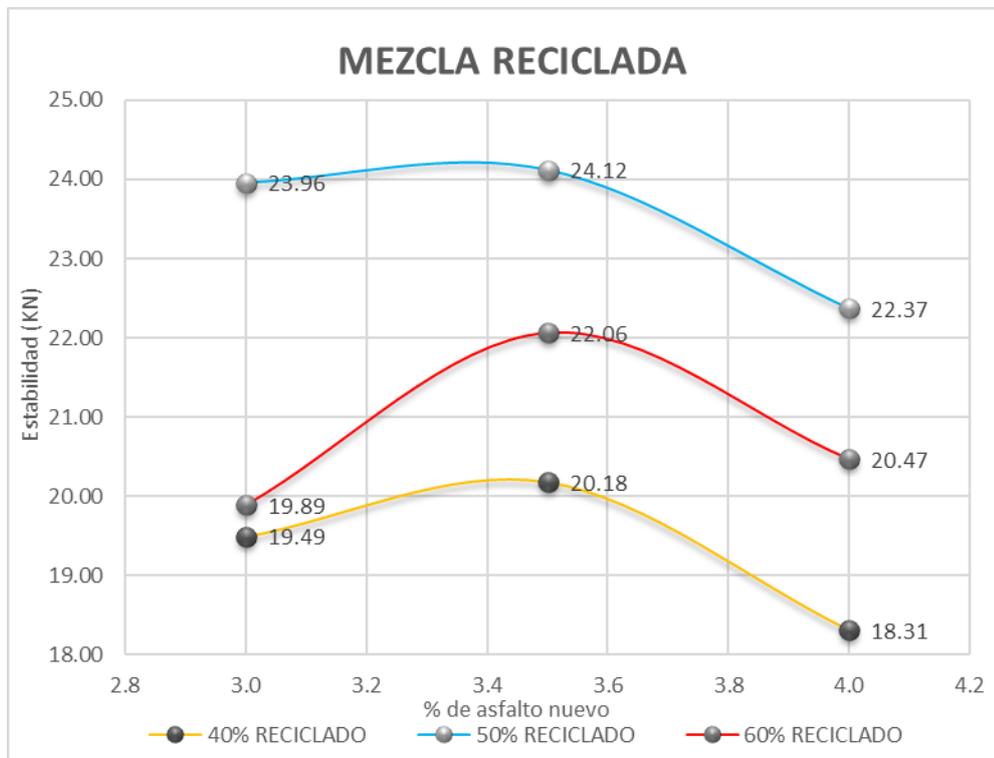
Resumen de la mezcla asfáltica reciclada

% de asfalto reciclado	% de asfalto nuevo	Estabilidad	Fluencia	% de vacíos
40%	3.0	19.49	10.50	6.56
	3.5	20.18	11.50	4.17
	4.0	18.31	13.50	2.97
50%	3.0	23.96	12.00	4.86
	3.5	24.12	13.00	3.20
	4.0	22.37	14.50	1.56
60%	3.0	19.89	14.50	2.69
	3.5	22.06	16.00	1.66
	4.0	20.47	17.00	0.19

De acuerdo a la tabla N°1 de requerimientos para la mezcla de concreto asfáltico indica una estabilidad mínima de 8.15 KN, flujo 8-14 y un porcentaje de vacíos 3-5; los porcentajes de pavimento reciclado que cumplen con lo indicado es de 40% y 3.5% de asfalto nuevo, 50% y 3.5% asfalto nuevo y para un 60 % de reciclado no cumple los requerimientos. Por lo tanto, el reciclado de pavimento asfáltico para un 40% y 50% cumplen con las características para una combinación asfáltica en caliente.

Figura 75

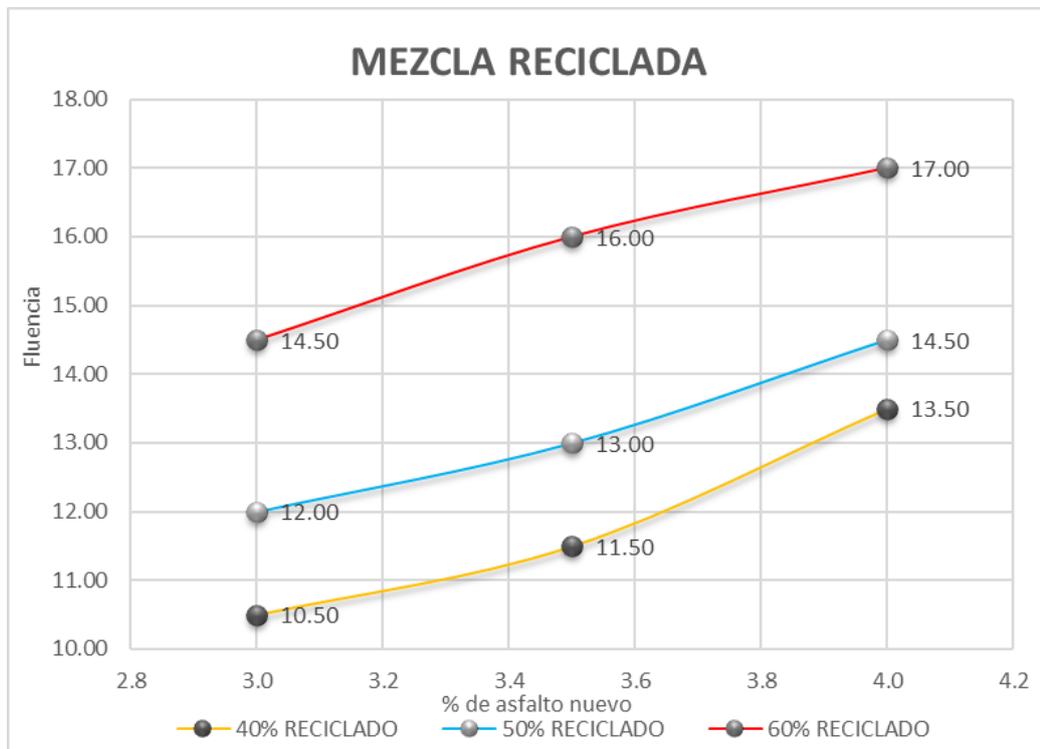
Estabilidad de la mezcla reciclada



De la Figura 75 se observa en el eje X se encuentra el porcentaje de asfalto nuevo adicionado 3.0%, 3.5% y 4.0% para una evaluación de 40%,50% y 60% de reciclado. Para un 50% de reciclado se tiene mayor estabilidad que un 40% y 60%.

Figura 76

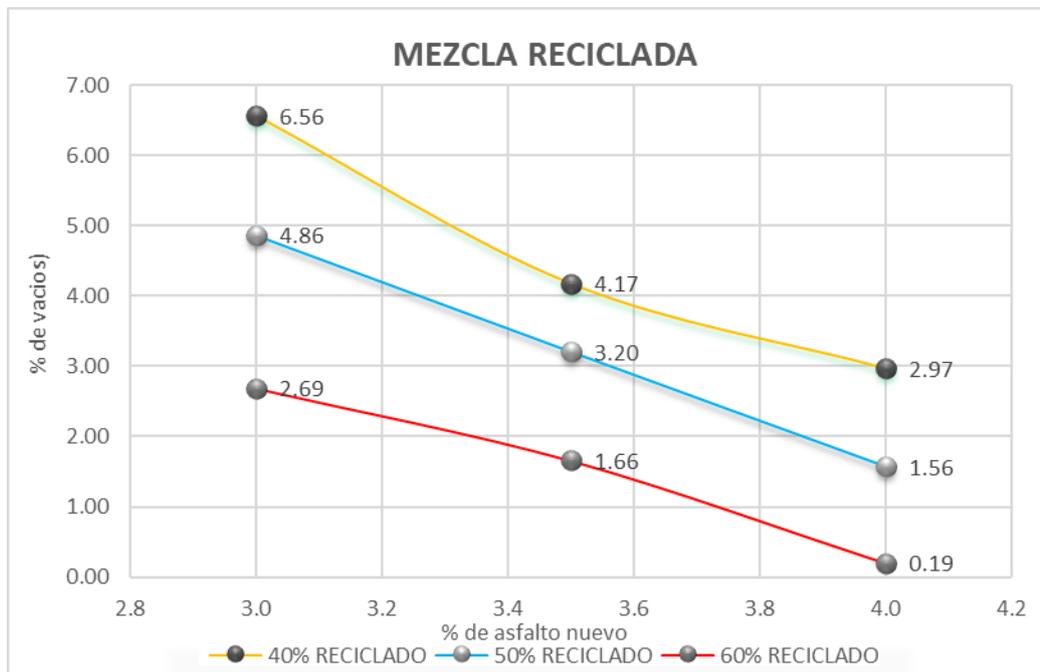
Fluencia de la mezcla reciclada



En la Figura 76 se observa la fluencia de la combinación de materiales asfáltica reciclada, en el eje X se encuentra el porcentaje de asfalto nuevo adicionado 3.0%, 3.5% y 4.0% para una evaluación de 40%,50% y 60% de reciclado. Para el 60% de reciclado, la fluencia se excede con referencia a las exigencias de la normatividad EG (2013) tabla 1; para ninguno de los casos existe una deficiencia de fluencia.

Figura 77

Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica reciclada



La Figura 77 ilustra la comparación del porcentaje de cavidades en la mezcla reciclada para niveles de reciclado del 40%, 50% y 60%. La conclusión extraída es que a medida que se aumenta la proporción de asfalto nuevo o material reciclado, disminuye el porcentaje de vacíos. Esto se debe a que el pavimento reciclado contiene un 5.5% de asfalto.

En la tesis de Balvin (2019), menciona que para un diseño con 6% de contenido de asfalto nuevo, 20% de arena chancada, 38% de arena zarandeada, 2% de filler, 25% de agregado grueso reciclado y un 15% de agregado grueso nuevo; obtuvo mayores resultados en su estabilidad y flujo al diseño patrón; y en menores resultados en el porcentaje de vacíos.

4.6.4. Comparación de costos

Tabla 48

Evaluación del costo de una mezcla tradicional

COSTO DE LA MEZCLA TRADICIONAL					
<i>Descripción Insumo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	Costo unitario por m3:		429.75
			<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>
Materiales					
pedra de 3/4"	m3		0.40	40.29	16.02
arena chancada	m3		0.31	40.00	12.37
arena natural	m3		0.16	23.71	3.74
filler	kg		16.76	0.70	11.73
asfalto liquido pen 120/150	gln		29.66	13.00	385.53
					429.38
Equipo					
cargador	HM	1.00	0.03	190.00	0.06
planta de asfalto	HM	1.00	0.03	950.00	0.30
					0.36

Tabla 49

Evaluación de los costos al 40% de material reciclado.

COSTO CON UN 40% DE RECICLADO					
<i>Descripción Insumo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	Costo unitario por m3:		229.57
			<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Parcial</i>
Materiales					
pedra de 3/4"	m3		0.49	40.29	19.60
arena chancada	m3		0.05	40.00	2.03
arena natural	m3		0.05	23.71	1.21
filler	kg		17.12	0.70	11.98
asfalto liquido 120/150	gln		11.32	13.00	147.20
capa asfáltica reciclado	kg		0.40	117.00	47.18
					229.20
Equipo					
Cargador	HM	1.00	0.03	190.00	0.06
Planta de asfalto	HM	1.00	0.03	950.00	0.30
					0.36



Tabla 50

Evaluación de los costos al 50% de material reciclado.

COSTO CON UN 50% DE RECICLADO						
<i>Descripción Insumo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cuadrilla</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Costo unitario por m3:</i>	213.05
						<i>Parcial</i>
Materiales						
pedra de 3/4"	m3		0.30	40.29		12.25
arena chancada	m3		0.15	40.00		6.08
Arena natural	m3		0.03	23.71		0.73
filler	kg		17.12	0.70		11.98
asfalto liquido pen 120/150	gln		9.44	13.00		122.67
capa asfáltica reciclado	m3		0.50	117.00		58.97
						212.68
equipo						
cargador	HM	1.00	0.03	190.00		0.06
planta de asfalto	HM	1.00	0.03	950.00		0.30
						0.36

Según los datos presentes en las Tablas 48, 49 y 50, resulta más rentable llevar a cabo un mayor reciclaje de pavimento asfáltico en comparación con la utilización de una mezcla asfáltica convencional.

En la tesis de Rengifo y Vargas (2017) en su tesis concluyen que existe un ahorro del 12.82% en el análisis de costo total y un 14.47% de ahorro en asfalto nuevo PEN 60/70.



V. CONCLUSIONES

- Los ensayos para la mezcla asfáltica reciclada se llevaron a cabo con proporciones del 40%, 50% y 60% de pavimento reciclado. A medida que se incrementa el porcentaje de asfalto reciclado, se observa un aumento en la estabilidad hasta un punto donde se produce una disminución, mientras que la fluencia aumenta y el porcentaje de vacíos disminuye. El porcentaje óptimo de reciclado se encuentra en los niveles del 40% y 50%, ya que ambos cumplen con los parámetros establecidos por la MTC. En el caso del 60% de reciclado, la fluencia excede los límites y el porcentaje de vacíos es menor al requerido. Por lo tanto, el porcentaje total del pavimento asfáltico reciclado es mayor al 40% en el diseño de la mezcla asfáltica reciclada en caliente.
- Las características físico mecánicas de la capa asfáltica reciclada son adecuadas para un nuevo diseño de mezcla asfáltica en caliente, de acuerdo a las especificaciones generales de la MTC 2013. El pavimento asfáltico reciclado presenta un contenido de asfalto del 5.77%, un tamaño máximo nominal de 3/4", un porcentaje de partículas chatas y alargadas de 7.48%, una resistencia a la abrasión según la prueba de los Ángeles del 24.04%, y un porcentaje de partículas fracturadas del 93.84%.
- La mezcla asfáltica tradicional optimo tiene una estabilidad de 19.97 KN, 11.00 de fluencia y 3.62% de vacíos; la mezcla asfáltica con un 40% de reciclado tiene 20.18KN de estabilidad, 11.50 de fluencia y 4.17% de vacíos; para un 50% de reciclado se tiene 24.12KN estabilidad, 13.00 de fluencia y 3.20% de vacíos. Por lo tanto, no hay diferencia significativa en las propiedades mecánicas entre la mezcla asfáltica reciclada y la mezcla asfáltica tradicional.



- El precio por metro cúbico de una mezcla asfáltica convencional en caliente asciende a s/.429.75, superando el costo de una mezcla asfáltica reciclada. En contraste, el valor de una mezcla asfáltica reciclada con un 40% de contenido es de s/.229.57, mientras que con un 50% es de s/.213.05. Por consiguiente, la mezcla asfáltica tradicional tiene un costo superior a la mezcla asfáltica reciclada.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar investigaciones con mayores porcentajes de pavimento reciclado que cumplan con los parámetros y que mejoren el desarrollo del mantenimiento de vías y sostenibilidad ambiental.
- Se recomienda un mayor análisis en las características químicas del asfalto reciclado y su adición en una nueva mezcla asfáltica en caliente.
- Se sugiere examinar mezclas asfálticas recicladas que superen el 50%, incorporando un agente rejuvenecedor para lograr mejoras en la estabilidad, fluidez y porcentaje de vacíos.
- Se recomienda considerar una cantera cercana a la vía para que reduzca costos.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arguelo, F. (2019). *Mezclas asfálticas con rap: pavimentos asfálticos reciclados*. PITRA-LanammeUCR, 9.
- Balbin, R. y Chochon, V. (2019). *Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de canta en el departamento de lima 2019*. Universidad San Martín De Porres, 215.
- Canchaco, E. (2021). *Evaluación de fallas en pavimento flexible, aplicando la metodología pci y estudio de regularidad superficial, carretera Plateria -Acora, Puno, 2021*. Lima: UCV.
- Chuman, J. (2017). *Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en huancayo*. Universidad Peruana los Andes, 166.
- Corredor, M.(2005). *Apuntes de Pavimento-volumen 2*. Caracas.
- Crispin, E., Helguero, L. (2019). *Estructura de un pavimento asfáltico en material reciclado para mejorar sus beneficios integrales*. Universidad Ricardo Palma, 208.
- Fonseca, A. M. (2006). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Gonzales, A. (2017). *Análisis del comportamiento mecánico de pavimentos con la reutilización de materiales reciclados en vías del distrito de San Miguel, San Roman, Puno-2017*. Univesidad Alas Peruanas, 173.
- Guacaneme, F. (2015). *Ventajas y usos del concreto reciclado*. Universidad Militar de Nueva Granada, 15.
- Menendez, J. (2010). *Ingeniería de Pavimentos - Materiales, Diseño y conservación*. lima.



- Miranda, F. y Aguilar, J. (2019). *mezclas asfálticas con rap:pavimentos asfálticos reciclados*. PITRA-Lanamme UCR, 9.
- MTC. (2013). *Especificaciones técnicas generales para construcción*. Lima.
- MTC. (2013). *Manual de Carreteras*. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos.
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. lima.
- Paiva, G.; Ramos, G. (2014). *Reciclado de pavimentos asfálticos y su reutilización para el diseño de mezcla de asfalto en caliente*. Universidad Señor de Sipán, 163.
- Rengifo, J. y Vargas, M. (2017). *Análisis comparativo entre pavimento flexible convencional y pavimento flexible reciclado en las cuadras 1-29 de la avenida la paz San Miguel - Lima*. Universidad San Martín de Porres, 147.
- Restrepo, H.; Stephens S. (2015). *Estudio de las ventajas económicas del reciclaje en frío in situ de pavimentos asfálticos*. Universidad de Medellín, 86.
- Rodríguez, M.; Rodríguez, J. (2004). *Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles*. 499.
- Hernández et al. (2014). *Metodología de la investigación*. México: McGRAW-Hill.
- Silene, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. Lima: ICG.
- Soluasfalt. (18 de octubre de 2017). *Soluasfalt*. Obtenido de Soluasfalt:
<https://asfaltomadrid.com/blog/asfalto-verde-asfalto-reciclado/>
- Tapia, M. (2016). *Pavimentos-Universidad Autónoma de México*. México.
- Valenzuela, J. (2020). *Diseño de pavimento con mezcla reciclada para reutilizarlos y optimizar costos*. Universidad Peruana los Andes, 124. Obtenido de
<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1607>
- Wikipedia. (14 de mayo de 2023). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia:
https://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_Rouch%C3%A9%20%93Frobenius



Xinman, A.; Cao, J.; Gao, L.; Hu, W.; Yi, J.;. (2022). *Performance evaluation of recycled asphalt mixtures with various percentages of RAP from the rotary decomposition process*. ScienceDirect.



ANEXOS

Anexo 1: Constancia de laboratorio pavimentos

Anexo 2: Constancia de laboratorio de suelos

Anexo 3: Ficha técnica PEN 120-150

Anexo 4: Certificado de calibración Marshall

Anexo 5: Granulometría

Anexo 6: Proctor modificado

Anexo 7: CBR

Anexo 8: Resumen de resultados

Anexo 9: Ensayos al árido grueso

Anexo 10: Ensayos al árido fino

Anexo 11: Rice

Anexo 12: Bulk

Anexo 13: Ensayo Marshall



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Fernny Elizabeth Yanapa Layme,
identificado con DNI 73645914 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Evaluación del porcentaje de pavimento asfáltico
reciclado para el diseño de mezcla asfáltica reciclada en
caliente, tramo Platería - Acosa 2022"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 20 de enero del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Fernny Elizabeth Yanapa Layme
identificado con DNI 73645914 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Evaluación del porcentaje de pavimento asfáltico reciclado para el diseño de mezcla asfáltica reciclada en caliente, tramo Patacruz-Acora 2022"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia: Creative

Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de enero del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella