

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del
agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Tamara Begonia Silva Cubas

ASESOR

Manuel Alejandro Borja Suarez

<https://orcid.org/0000-0002-6532-4976>

Chiclayo, 2025

**Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción
del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente**

PRESENTADA POR
Tamara Begonia Silva Cubas

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Luis Quiroz Quiñones
PRESIDENTE

Roberto Carlos Castillo Velarde
SECRETARIO

Manuel Alejandro Borja Suarez
VOCAL

Dedicatoria

Mi investigación va dedicada, en primer lugar, a Dios, porque me da la fortaleza y sabiduría necesarias para realizar mis actividades diarias. Agradezco profundamente a mis padres, quienes siempre estuvieron para mí, brindándome su apoyo incondicional y sus consejos en situaciones difíciles; a mi familia en general, por su acompañamiento y palabras motivadoras, que me impulsaron a seguir adelante; a mis compañeros, que, con paciencia, me ayudaron a resolver dudas a lo largo del camino. Finalmente, a todas las personas que, de alguna u otra forma, participaron en el logro de este importante objetivo: culminar mi carrera profesional con éxito.

Agradecimientos

Mi agradecimiento va dirigido a mi asesor, por brindarme su tiempo en cada sesión y por orientarme con profesionalismo y experiencia en el desarrollo de mi investigación, contribuyendo al cumplimiento de varios objetivos propuestos. A mis padres, por brindarme siempre su apoyo en este arduo proceso, no solo en lo económico, sino también en lo emocional y motivacional, lo cual fue clave para alcanzar mi meta. También agradezco a los torneros que me proporcionaron gratuitamente el residuo de acero, fundamental en mi estudio, y por compartir sus valiosas sugerencias sobre el manejo de este material, basadas en su experiencia laboral.

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %	20 %	4 %	7 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	9 %
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	2 %
3	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
5	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
7	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
8	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	<1 %
9	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
10	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
12	1library.co Fuente de Internet	<1 %

Índice

Resumen.....	17
Abstract.....	18
Introducción	19
Revisión de literatura	24
Antecedentes	24
Base teóricas.....	30
Definición de conceptos básicos.....	30
Limadura de acero	31
Ensayo Marshall.....	34
Módulo de resiliencia ASTM D7369	37
Método de prueba estándar para Resistencia a la tracción indirecta (IDT) ASTM D6931 ..	38
Método de prueba de pérdida por desgaste o ensayo de cantabro	38
Diseño de mezcla asfáltica en caliente utilizando el Método de Marshall	38
Proceso de obtención de MAC	40
Materiales y métodos.....	47
Tipo de investigación	47
Nivel de investigación	47
Diseño de investigación.....	47
Enfoque de investigación	48
Hipótesis.....	48
Población y muestra	48
Población	48
Muestra	48
Criterio de selección	50
Obtención de agregados	50

Obtención del residuo de acero.....	51
Caracterización de la limadura de acero	53
Operacionalización de variables	54
Técnicas e instrumentos de recolección de Datos	55
Diagrama de flujo	56
Procedimiento	57
Ensayos para agregados	58
Ensayos químicos de la limadura de acero:.....	58
Ensayos para agregado fino.....	59
Ensayos para agregado grueso	65
Plan de Procesamiento.....	71
Resultados y discusión.....	73
Resultados	73
Granulometría de agregado grueso	73
Granulometría de agregado fino	73
Granulometría de acero	74
Granulometría combinada de los agregados (grueso y fino)	75
Caracterización de agregados:.....	77
Diseño de mezcla asfáltica:	84
Ensayo Marshall (estabilidad y flujo)	90
Ensayos físico - mecánicos para MAC convencional y modificada al 1.5% de sustitución	107
Evaluación económica.....	116
Discusión	119
Dosificación óptima de limadura	119
Propiedades mecánicas de una MAC.....	120
Propiedades físicas de una MAC.....	122
Comparación económica.....	124
Resistencia al desgaste de la MAC convencional y modificada	124
Conclusiones	126

Recomendaciones.....	128
Referencias.....	130
Anexos.....	134
Anexo 1: Ficha de validación de ensayos laboratorio.....	134
Anexo 2: Granulometría del agregado fino	136
Anexo 3: Granulometría del agregado grueso.....	137
Anexo 4: Granulometría combinada.....	138
Anexo 5: Granulometría de la limadura de acero	139
Anexo 6: Ensayo físico químico de la limadura de acero	140
Anexo 7: Ensayo de absorción del acero	141
Anexo 8: Ficha técnica del cemento asfáltico 60/70.....	142
Anexo 9: Ensayo Límite Plástico por Malla N°200	143
Anexo 10: Ensayo índice de plasticidad (Malla N°40).....	144
Anexo 11: Sales solubles para el agregado fino	145
Anexo 12: Ensayo equivalente de arena.....	146
Anexo 13: Ensayo de absorción y peso específico de agregados finos y gruesos ...	147
Anexo 14: Ensayo de azul de metileno	148
Anexo 15: Ensayo partículas chatas y alargadas.....	149
Anexo 16: Ensayo de durabilidad sulfato de magnesio de agregado fino.....	150
Anexo 17: Ensayo de durabilidad de sulfato de magnesio agregado grueso	152
Anexo 18: Ensayo de resistencia al desgaste de los agregados gruesos.....	153
Anexo 19: Ensayo de sales solubles en agregado grueso	154

Anexo 20: Ensayo de caras fracturas.....	155
Anexo 21: Diseño de mezclas.....	156
Diseño de mezcla convencional.....	156
Diseño de mezcla modificada con 0.75% de limadura de acero	164
Diseño de mezcla modificada con 1.5% de limadura de acero	171
Diseño de mezcla modificada con 3.0% de limadura de acero	179
Anexo 22: Ensayo Cantabro Estado Seco- MAC modificada	187
Anexo 23: Ensayo Cantabro Estado Seco- MAC convencional	188
Anexo 24: Ensayo Cantabro estado húmedo MAC modificada.....	189
Anexo 25: Ensayo Cantabro estado húmedo- MAC convencional	190
Anexo 26: Ensayo Rice para MAC Patrón – Cantabro.....	191
Anexo 27: Ensayo rice para MAC modificada- Cantabro	192
Anexo 28: Ensayo Módulo Resiliencia MAC convencional.....	193
Anexo 29: Ensayo Modulo Resiliencia MAC modificada.....	194
Anexo 30: Ensayo a Tracción Indirecta para MAC convencional.....	195
Anexo 31: Ensayo a Tracción Indirecta para MAC modificada.....	196
Anexo 32: Ensayo Lottman para MAC convencional	197
Anexo 33: Ensayo Lottman para MAC modificada	198
Anexo 34: Panel fotográfico	199

Lista de Tablas

Tabla 1 Criterio de diseño de mezclas Marshall	35
Tabla 2 Mínimo Porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)	35
Tabla 3 Requerimientos de los agregados gruesos.....	39
Tabla 4 Requerimientos de los agregados finos.....	39
Tabla 5 Selección para tipo de cemento asfáltico	40
Tabla 6 Muestreo para determinar el porcentaje óptimo de PEN (%) en ensayo Marshall.....	49
Tabla 7 Muestreo para ensayos con MAC convencional y modificada	49
Tabla 8 Número de briquetas total para los ensayos	50
Tabla 9 Operacionalización de variables	54
Tabla 10 Técnicas e instrumentos de investigación documental	55
Tabla 11 Ensayos a realizar	57
Tabla 12 Pesaje de la limadura de acero que se retienen en los tamices 10,40,80, 200 y fondo	59
Tabla 13 Porcentajes de los agregados al combinarse para lograr una gradación óptima.....	75
Tabla 14 Porcentaje pasante al combinar los porcentajes de agregados propuestos.....	75
Tabla 15 Pesos retenidos de la malla 1/2" hasta el fondo.....	76
Tabla 16 Curva granulométrica de la combinación de agregados dentro de la MAC-2	76
Tabla 17 Composición química de la limadura de acero.....	77
Tabla 18 Características físicas de la limadura de acero	77
Tabla 19 Cantidad de % de arcillas y partículas nocivas.....	77
Tabla 20 Porcentaje de equivalente de arena en el agregado fino	78
Tabla 21 Porcentaje de absorción para A.F.	78
Tabla 22 Límites del agregado retenido en la malla N°200	79
Tabla 23 Curva de fluidez del agregado retenido en la malla N°200.....	79
Tabla 24 Límites del agregado retenido en la malla N°40	79
Tabla 25 Curva de fluidez del agregado retenido en la malla N°40	80

Tabla 26 Porcentaje de pérdida en los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100.....	80
Tabla 27 Desgaste total de toda la muestra fina.....	80
Tabla 28 Porcentaje de absorción para A.G.....	81
Tabla 29 % de sales solubles totales en agregado fino.....	81
Tabla 30 % de sales solubles totales en agregado grueso.....	81
Tabla 31 Porcentaje de pérdida en los tamices 1/2", 3/8" y N°4	82
Tabla 32 Desgaste total de toda la muestra gruesa.....	82
Tabla 33 Partículas con una cara fracturada	82
Tabla 34 Partículas con dos caras fracturadas	83
Tabla 35 Porcentaje de abrasión del agregado grueso.....	83
Tabla 36 ensayo partículas chatas y alargadas.....	84
Tabla 37 Diseño para mezcla convencional a 4.5; 5:5.5 y 6% de C.A.	85
Tabla 38 Pesos de materiales para MAC a 0.75% de sustitución de acero	85
Tabla 39 Pesos de materiales para MAC a 1.5% de sustitución de acero	85
Tabla 40 Pesos de materiales para MAC a 3.0 % de sustitución de acero	86
Tabla 41 Porcentaje de diseño de mezcla para MAC convencional + 0.0% Ac.....	86
Tabla 42 Porcentaje de diseño de mezcla para MAC modificada + 0.75% AC	87
Tabla 43 Porcentaje de diseño de mezcla para MAC modificada + 1.5% AC.....	88
Tabla 44 Porcentaje de diseño de mezcla para MAC modificada + 3.0% AC.....	89
Tabla 45 Peso total de limadura de acero	90
Tabla 46 Relación Estabilidad Vs. contenido asfáltico	91
Tabla 47 Relación Flujo Vs. contenido asfáltico	92
Tabla 48 Relación Rigidez Vs. contenido asfáltico	93
Tabla 49 % de Vacíos.....	94
Tabla 50 Vacíos llenos de asfalto Vs. contenido asfáltico	95
Tabla 51 V.M.A (%).....	96
Tabla 52 Ensayo Gravedad específica (RICE) para MAC convencional y modificada.....	97

Tabla 53 Parámetros de Diseño Marshall para mezcla convencional	98
Tabla 54 Resultados de parámetros Marshall de MAC convencional y modificada	100
Tabla 55 Parámetros de Diseño Marshall para MAC con 0.75% de sustitución de acero	103
Tabla 56 Parámetros de Diseño Marshall para MAC con 1.5 % de sustitución de acero	104
Tabla 57 Parámetros de Diseño Marshall para MAC con 3.0 % de sustitución de acero	105
Tabla 58 Características Marshall y %PEN óptimos para cada MAC modificada	105
Tabla 59 Resultados de Ensayo de desgaste para MAC convencional - Estado Seco	107
Tabla 60 Resultados de Ensayo de desgaste para MAC modificada - Estado Seco	108
Tabla 61 Resultados de Ensayo de desgaste para MAC convencional - Estado húmedo	109
Tabla 62 Resultados de Ensayo de desgaste para MAC Modificada - Estado húmedo	109
Tabla 63 Resultados de la resistencia por humedad inducida para MAC convencional y modificada.....	111
Tabla 64 Resultados de Ensayo a Tracción para mezcla convencional	113
Tabla 65 Resultados de Ensayo a Tracción para MAC modificada.....	114
Tabla 66 Resultados Módulo de resiliencia para MAC convencional y modificada	115
Tabla 67 Costo de materiales para 1 m3 de mezcla asfáltica patrón.....	116
Tabla 68 Costos de materiales por m3 para MAC modificada	116
Tabla 69 Calculo de costo de mano de obra	117
Tabla 70 Costos unitarios por m2 para MAC convencional.....	118
Tabla 71 Costos unitarios por m2 para MAC modificada	118
Tabla 72 Porcentaje de incidencia en costos por m2 de mezcla	118

Lista de Gráficos

Gráfico 1 Esquema de propiedades fisicoquímicas de la limadura de acero	34
Gráfico 2 Esquema de obtención y uso de la limadura de acero	52
Gráfico 3 Diagrama de flujo	56
Gráfico 4 Proporción de diseño de MAC convencional.....	86
Gráfico 5 Proporción de diseño de MAC modificada (0.75% Ac.)	87
Gráfico 6 Proporción de diseño de MAC modificada (1.5% Ac.)	88
Gráfico 7 Proporción de diseño de MAC modificada (3.0% AC.)	89
Gráfico 8 Relación estabilidad y %C.A.....	91
Gráfico 9 Relación flujo y %C. A	92
Gráfico 10 Relación rigidez Vs % C.A	93
Gráfico 11 Relación % de vacíos con aire Vs. Contenido de asfalto.....	94
Gráfico 12 Relación % de vacíos llenos de asfalto Vs % C.A.....	95
Gráfico 13 Relación entre VMA y contenido de asfalto	96
Gráfico 14 Gráfico del ensayo de Gravedad específica-RICE	97
Gráfico 15 Porcentaje de vacíos en función de % C.A	98
Gráfico 16 Peso Unitario en función del % C.A.....	98
Gráfico 17 Vacíos llenos de asfalto en función del % C.A.	99
Gráfico 18 Vacíos del agregado mineral en función del % C.A.....	99
Gráfico 19 Flujo en función del % C.A.....	99
Gráfico 20 Polvo / asfalto en función de % C.A.....	99
Gráfico 21 Flujo en función del % de C.A	99
Gráfico 22 Análisis de Vacíos con sustitución de limadura de acero al 5.61% C.A	100
Gráfico 23 Análisis de vacíos en el agregado mineral con sustitución de acero	101
Gráfico 24 Análisis de Vacíos llenos de asfalto con sustitución de acero con 5.61%	101
Gráfico 25 Análisis del flujo con la sustitución de acero con 5.61%PEN	102
Gráfico 26 Análisis del flujo con la sustitución de acero con 5.61% C.A	103

Gráfico 27 Estabilidad según %PEN óptimo para cada % Ac.....	106
Gráfico 28 Flujo según %PEN óptimo para cada % Ac.....	106
Gráfico 29 Relación entre la pérdida de desgaste para MAC convencional y modificada	108
Gráfico 30 Relación entre la pérdida de desgaste para MAC convencional y modificada E.H.	110
Gráfico 31 Esfuerzo a la tensión Grupo Seco para MAC convencional y modificada	111
Gráfico 32 Esfuerzo a la tensión Grupo Húmedo para MAC convencional y modificada	112
Gráfico 33 Relación entre el esfuerzo a la tensión para MAC convencional y modificada...	112
Gráfico 34 Tendencia del ensayo a tracción IDT para MAC convencional	113
Gráfico 35 Tendencia del ensayo a tracción IDT para MAC modificada	114
Gráfico 36 Módulo de resiliencia a diferentes temperaturas	115

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Procedimiento de obtención de la Limadura de acero (imantación).....	31
Ilustración 2 Forma de transporte de limadura de acero	32
Ilustración 3 Forma correcta de almacenamiento de limadura de acero	33
Ilustración 4 Equipo de mezclado de MAC.....	42
Ilustración 5 Fase inicial del proceso de mezclado de MAC.....	43
Ilustración 6 Fase final, proceso de colocación de carpeta asfáltica y posterior compactación	44
Ilustración 7 Composición de la MAC.....	46
Ilustración 8 Composición interna de MAC.....	46
Ilustración 9 Diseño de la investigación.....	47
Ilustración 10 Visita a la cantera Las Tres Tomas	50
Ilustración 11 Ubicación del tornero donde se obtuvo la limadura de acero.....	51
Ilustración 12 Selección del material ferroso mediante un imán	51
Ilustración 13 Recolección en saco de la limadura de acero	51
Ilustración 14 Preparación de la muestra para ensayo de caracterización.....	53
Ilustración 15 Equipo MG para gases de carbono y em metales	54
Ilustración 16 Equipo AA (absorción atómica)	54
Ilustración 17 Medición de la lectura de arena con un pisón.....	60
Ilustración 18 Pesaje de muestras antes y después del horno (Malla N°40).....	60
Ilustración 19 Pesaje de muestras antes y después del horno (Malla N° 200).....	61
Ilustración 20 Verificación del color azul cielo conforme aumentaban la colocación de las gotas del azul metileno	61
Ilustración 21 Extracción manual de las burbujas en el interior de la fiola.....	62
Ilustración 22 Ensayo sales solubles totales	63
Ilustración 23 Preparación de la mezcla de Sulfato de Magnesio.....	64
Ilustración 24 Pesaje de las muestras después del lavado de secado	64
Ilustración 25 Pesaje a las 500 revoluciones.....	65

Ilustración 26 Pesaje a las 200 revoluciones.....	65
Ilustración 27 Colocación del agregado en la Máquina	65
Ilustración 28 Peso de las partículas chatas y alargadas de 1/2", 1/4" y 3/8"	66
Ilustración 29 Ensayo de sales solubles totales para agregado grueso.....	66
Ilustración 30 Ensayo de absorción para agregado grueso	67
Ilustración 31 Ensayo de durabilidad para agregado grueso	68
Ilustración 32 Pesaje antes y después del ensayo de durabilidad.....	68
Ilustración 33 Gradación del agregado grueso extraído de la cantera Tres Tomas.....	69
Ilustración 34 Curva Granulométrica del agregado grueso	69
Ilustración 35 Gradación del agregado fino extraído de la cantera Pátapo	70
Ilustración 36 Curva granulométrica del agregado fino	70
Ilustración 37 Curva granulométrica del agregado grueso	73
Ilustración 38 Curva granulométrica del agregado fino	74
Ilustración 39 Curva granulométrica del acero	74
Ilustración 40 Muestra de briquetas a ser ensayadas.....	107
Ilustración 41 briquetas sometidas a temperaturas de ensayo	109
Ilustración 42 Briquetas a ser ensayadas-Lottman	110
Ilustración 43 Tendencia del ensayo a tracción IDT para MAC modificada	114
Ilustración 44 Colocación de agua destilada en las 3 probetas	199
Ilustración 45 Preparación de la muestra para ensayo de equivalente de arena	199
Ilustración 46 Lectura del nivel en el que la arena se asienta con ayuda del pizón	199
Ilustración 47 Colocación de la arena en las probetas y el agitado de la muestra	199
Ilustración 48 Determinación del límite líquido con la copa de Casa Grande.....	200
Ilustración 49 Pesaje de muestras antes y después del horno (Malla N°200 Y 40).....	200
Ilustración 50 Proceso para ensayo azul de metileno.....	200
Ilustración 51 Proceso para determinar el ensayo de absorción de agregado fino.....	201
Ilustración 52 Proceso para determinar ensayo de sales solubles para agregado fino y grueso	201

Ilustración 53	Proceso para determinar la durabilidad del agregado fino y grueso	202
Ilustración 54	Muestras después de 24 horas con la solución de sulfato de magnesio	202
Ilustración 55	Proceso para determinar desgaste por abrasión	202
Ilustración 56	Proceso para determinar la absorción de agregado grueso.....	203
Ilustración 57	Preparación de la muestra de acero para caracterización	203
Ilustración 58	Proceso para determinar la granulometría de la limadura de acero	204
Ilustración 59	Elaboración de briquetas	204
Ilustración 60	Muestras de 48 briquetas para ensayo Marshall	204
Ilustración 61	Proceso para determinar gravedad específica	205
Ilustración 62	Proceso para terminar el desgaste de briquetas en estado Húmedo y seco	205
Ilustración 63	Muestras sometidas a ensayo de desgaste - Cantabro	206
Ilustración 64	Proceso para terminar la humedad inducida de briquetas	206
Ilustración 65	Briquetas luego de ser sometidas a tracción	207
Ilustración 66	Proceso para determinar las deformaciones en briquetas.....	207
Ilustración 67	Muestras sometidas a tracción indirecta.....	208

Resumen

La presente investigación propone incluir limadura de acero en una Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC), con el propósito de analizar como incide en las propiedades físico-mecánicas de una MAC, para esto se hizo el reemplazo de una fracción del agregado fino por limadura de acero en la proporción de 0.75%, 1.5% y 3.0%, esta sustitución deberá cumplir las especificaciones establecidas según la EG-2013. En primer lugar, se realizó la recolección de residuos de acero en torneros, luego se procede a caracterizar este material en un laboratorio obteniendo sus características fisicoquímicas, cabe resaltar que la muestra enviada previamente pasó por una granulometría como agregado, escogiendo una muestra que tiene aspecto de limadura, estas son las que se retienen en la Malla N°80 y N°200. De igual manera para caracterizar los agregados como la piedra y la arena se siguió el procedimiento adecuado para cada ensayo establecido en la Norma EG-2013, requisito necesario para realizar un diseño de mezcla óptimo patrón y modificada con los porcentajes anteriormente propuestos, estos serán ensayados mediante la prueba estabilidad/ flujo que determinará el mejor porcentaje de cemento asfáltico para cada muestra de mezcla asfáltica.

Para determinar las propiedades físico-mecánicas, se ejecutaron ensayos como Cántabro, Módulo de resiliencia, Lottman y Tracción Indirecta, los cuales permitieron hacer una comparación entre una mezcla asfáltica convencional y una modificada, cabe resaltar que se trabajó con el mismo porcentaje de PEN 60/70 para MAC convencional y MAC modificada con el fin de evaluar únicamente la influencia de la limadura de acero.

Palabras clave: limadura de acero, método Marshall, briquetas, propiedades mecánicas y físicas, mezcla asfáltica en caliente.

Abstract

The present research proposes to include steel filings in a Hot Asphalt Mix (MAC), with the purpose of analyzing how it affects the physical-mechanical properties of a MAC, for this it was made the replacement of a fraction of the fine aggregate by steel filings in the proportion of 0.75%, 1.5% and 3.0%, this substitution must meet the specifications established according to EG-2013. First, the collection of steel waste was carried out in turners, then this material is characterized in a laboratory obtaining its physicochemical characteristics, it should be noted that the sample previously sent went through a granulometry as an aggregate, choosing a sample that has the appearance of filing, these are the ones that are retained in Mesh N° 80 and N° 200. In the same way, to characterize the aggregates such as stone and sand, the appropriate procedure was followed for each test established in the EG-2013 Standard, a necessary requirement to carry out an optimal mix design, standard and modified with the percentages previously proposed, these will be tested by means of the stability/flow test that will determine the best percentage of asphalt cement for each asphalt mixture sample.

To determine the physical-mechanical properties, tests such as Cantabro, Resilience Modulus, Lottman and Indirect Traction were carried out, which allowed a comparison between a conventional asphalt mixture and a modified one, it should be noted that the same percentage of PEN 60/70 was worked for conventional MAC and modified MAC in order to evaluate only the influence of steel filing.

Keywords: steel filings, Marshall method, briquettes, mechanical and physical properties, hot mix asphalt.

Introducción

El ámbito de la infraestructura viaria, tanto a nivel nacional como internacional, resulta de gran importancia puesto que facilita la conectividad entre ciudades, ayudando a las personas a viajar con seguridad y permitiendo el comercio y la circulación de productos y servicios entre distintas poblaciones [1]. Sin embargo, son pocas las regiones que cuentan con una red de carreteras adecuada. Por ejemplo, en Perú, el 18% de la red vial no está pavimentada, y de los tramos pavimentados, el 17% está en mal estado. Esto se acerca al promedio de América Latina y partes del Caribe (20%), y contrasta con países como México y Chile, donde menos del 5% de sus redes viales están en mal estado [2]. Además, en ámbito regional, por ejemplo, la ciudad de Chiclayo tiene sus pistas en mal estado en un promedio de 80% [3]. Adicional a ello, se sabe que la infraestructura vial de un país influye mucho en el avance del sector económico e integración nacional, esto se refleja en las proyecciones del Marco Macroeconómico Multianual (MMM) 2021-2024, donde el sector transportes concentra la mayor parte de la brecha total de infraestructura, representando un 44%. Esta situación se explica porque, según estimaciones del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), las necesidades de infraestructura a corto plazo en carreteras alcanzan los S/ 15,540 millones, mientras que las de largo plazo para todo el sector transportes suman aproximadamente S/161,000 millones [2]. A raíz de esto surge el interés por especialistas del sector vial de realizar múltiples investigaciones con el fin de dar una mejora en cuanto al óptimo diseño de los pavimentos asfálticos ya que en los últimos años se están usando ampliamente por su buen rendimiento, comodidad y su costo de construcción relativamente bajo comparado con otros pavimentos [4]. Esto a fin de garantiza una buena vida útil de las carreteras y proporciona una seguridad adecuada tanto para los conductores como para los peatones [5].

Por otra parte, a pesar de esas ventajas, las carpetas asfálticas suelen sufrir un deterioro acelerado por factores constructivos, ambientales y de carga vehicular. Así como también, errores en la ejecución, mantenimiento insuficiente y mala gestión del drenaje, lo cual provocan fallas de piel de cocodrilo, pulimiento de agregados y bacheos, lo que reduce la funcionalidad del pavimento y encarece su reparación [6]. Asimismo, la radiación solar, la lluvia, la nieve y los productos químicos degradan el aglutinante asfáltico, disminuyen su resistencia al agua y facilitan la descomposición prematura [7]. Adicional a ello, la circulación de vehículos pesados añade fatiga al material, genera deformaciones permanentes y surcos longitudinales, fenómeno mitigado en parte con ligantes de alto desempeño y agregados de calidad [8]. Además de los daños estructurales, estas fallas incrementan la accidentalidad, la congestión vehicular, el consumo de combustible y las emisiones de CO₂. Por ello, es esencial

priorizar proyectos viales con diseños adecuados, optar por materiales más duraderos y adoptar soluciones sostenibles con el fin de asegurar una movilidad eficiente y un costo de mantenimiento reducido a largo plazo [9].

Por otra parte, se presentan problemas adicionales, ya que un aspecto crucial en la ingeniería de infraestructura vial es la seguridad de la conducción, lo cual impulsa la demanda de nuevas carreteras y calles. Para lograr lo mencionado, se requiere grandes volúmenes de agregados que representan entre el 90 % y 95 % de la mezcla asfáltica, lo que conlleva una extracción intensiva en canteras. Dicha sobreexplotación no solo agota recursos naturales, sino que provoca un elevado impacto visual en el paisaje y altera la morfología del terreno, generando efectos ambientales y sociales adversos [10]. Debido a ello, la creciente demanda de materias primas ha centrado la atención en el sector de la ingeniería civil hacia el uso de modalidades constructivas con materiales alternativos. El sector de infraestructura ha comenzado a invertir recursos de investigación en materiales de desecho para reutilizarlos en la construcción de carreteras. Los materiales provenientes de actividades siderúrgicas como acero, hierro, cobre, aluminio debido a sus múltiples usos dan lugar a la generación de escorias y limaduras, estos residuos serán de gran valor, ya que podrán limitar el uso de materias primas reduciendo el impacto ambiental [11]. Estudios han demostrado que el rubro de la industria siderúrgica produce de un 15% y 20% de residuos del material empleado, entre los países más destacados esta China, Estados Unidos, Japón, Suecia, Alemania y Reino Unido [12]. Así mismo en nuestro país las empresas siderúrgicas como lo es Sider Perú para el año 2022 reporto 400,000 tn de chatarra [13], mientras que Aceros Arequipa para el año 2022 reporto 1,249.91 tn, y para el 2023 reportó 946.08 tn [14].

De los ya mencionados, la duración de un pavimento está relacionada con la selección conveniente de materiales utilizados [15]. Con el objetivo de tener una circularidad más limpia en la producción de mezclas asfálticas se plantea reemplazar de manera parcial los agregados y rellenos convencionales con productos que son considerados como desechos, pero a los cuales se les puede dar reutilización y la mejor manera sería reutilizándolos en el ámbito de la construcción. Así mismo, al usar materiales de desecho en mezclas asfálticas, no solo se contribuye a disminuir el uso de recursos naturales, sino que también reduce la huella de carbono y el impacto ambiental que genera la construcción de pavimentos [16].

De lo ya expuesto anteriormente se puede inferir que los pavimentos asfálticos son mejorados con productos alternativos con la finalidad de reducir la degradación de la superficie de rodadura, dado que cada vez es más notorio las fallas que se manifiesten como el agrietamiento por factores como la fatiga y deformaciones permanentes, esto son los

resultados de la acción climática y aumento de la intensidad de carga del tráfico [17], conllevando que la estructura vial bituminosa tenga menor vida útil en comparación con otras estructuras. Por esta razón, se utilizan nuevas técnicas en adicionar otros componentes en la mezcla asfáltica [18], para reducir costos de mantenimiento y aliar con el tema ambiental [19]. Así mismo, surge un gran interés en encontrar materiales adecuados para sustituir a los áridos convencionales, con el fin de evitar la explotación indiscriminada de las canteras y a su vez que mejoren el diseño de mezcla asfáltica. Ante esta situación, surge la idea de reutilizar un material considerado residuo en nuevos proyectos de construcción, ya que su reúso ayuda a contrarrestar la alta demanda de áridos en los pavimentos [20]. En este contexto, los materiales provenientes de actividades metalúrgicas adquieren un papel relevante, particularmente la limadura de acero, al ser un residuo abundante con potencial para ser aprovechado como agregado fino en mezclas asfálticas. Tal como ya se ha evidenciado en países de Asia y Europa, en América Latina también se registra una elevada producción de residuos de acero, destacando Brasil como el único país sudamericano entre los 10 principales productores de acero a nivel mundial [21]. Esta disponibilidad, junto con las propiedades físicas y mecánicas (resistencia a la compresión y tracción, alta densidad y tenacidad), hace del acero una alternativa para mejorar las propiedades ya mencionadas en la mezcla asfáltica, con lo cual se busca fortalecer el desempeño de los pavimentos.

De acuerdo con lo ya mencionado líneas arriba, surge la pregunta: ¿Cómo influye el reemplazo de una fracción de agregado fino por limadura de acero en los parámetros físico-mecánicos de una MAC (mezcla asfáltica en caliente); por lo que en la búsqueda de dar solución en base a la problemática, se formuló la siguiente hipótesis: la sustitución de una pequeña fracción del agregado fino por limadura de acero, en porcentajes de 0.75, 1.5 y 3%, podría mejorar las propiedades físico-mecánicas en una MAC. Para comprobar ello, se realizarán primero ensayos a los agregados, seguido de ello se realizará el ensayo de Marshall, con él se determinará el contenido óptimo de PEN 60/70; por consiguiente, se llevará a cabo ensayos de Cántabro, Lottman, Tracción indirecta (IDT) y finalmente Módulo de resiliencia.

Además esta investigación se justifica ambiental, ya que durante el proceso de fabricación de objetos metálicos que contienen principalmente acero, existen ciertos porcentajes de contenido de limadura de acero, los cuales por lo general son desechados a la basura o tienen una mala disposición final contaminando así al medio ambiente, específicamente al suelo y los recursos hídricos ya que al haber lluvia estos residuos metálicos son arrastrados aguas abajo hasta llegar a los ríos o mares, afectando a las especies marinas y por ende la salud humana. Es por esto surge la idea de reaprovechar estos residuos de acero obtenidas en el

proceso siderúrgico, incluyéndolo en una mezcla asfáltica logrando a la vez disminuir el porcentaje de contaminación que estos residuos generan al ambiente. Por otro lado, como parte económica, la obtención del acero que se utilizará como reemplazo del agregado fino para mezcla asfáltica, su obtención no resulta muy costosa ya que, será usada en bajos porcentajes, además los resultados pueden ser mejores que los de una mezcla convencional lo que justificaría un costo extra de este recurso para el diseño de mezcla asfáltica. Otra forma de obtener este recurso y que resulta un tanto más económico es en los talleres de soldadura en donde por lo general se desechan, sin embargo, se tiene que hacer una selección minuciosa de este material ya que va a ser considerado como agregado fino por lo que sus partículas deben pasar por el tamiz N°4 y ser retenidas en el tamiz N°200. Además, al mejorar sus propiedades de la MAC se obtendría posibles reducciones en costos de mantenimiento vial. Así mismo, esta investigación beneficiaría a la población, ya que generaría un impacto social debido esta propuesta de incluir limadura de acero en una mezcla asfáltica, ya que, hoy en día se está concientizando más en la idea de reaprovechar aquellos residuos que resultan contaminantes para el ambiente, además mediante una serie de estudios es que se comprobará si es que este material ofrece buenas propiedades a la mezcla usándolo como un agregado fino, incentivando así a su vez a la comunidad científica a la investigación y curiosidad de las nuevas generaciones en valorizar ciertos residuos y emplearlos en nuevos recursos.

En la presente investigación se ha tomado como referencia residuos metálicos que están ligadas a la limadura de acero ya que, con respecto a este último no hay muchas investigaciones respecto a este residuo en condición de limadura, pero si hay como viruta y escoria donde según investigaciones este residuo logra una mejor capacidad de calentamiento por inducción de las mezclas asfálticas, sin embargo debido a una falta de uniformidad de temperatura la mezcla se ve afectada por el sobrecalentamiento de la mezcla con el acero, por esta razón es que se plantea la evaluación del rendimiento calórico por inducción [22]. Otra investigación que aporta a la evaluación de materiales relacionadas a industria metalúrgica en procesos constructivos es la evaluación del efecto de óxido de fierro en las propiedades mecánicas de una mezcla asfálticas, para llevar a cabo su estudio se realizó en primer lugar un diseño de mezcla tanto convencional como modificada para ser ensaya por el método Marshall y de esa manera establecer el porcentaje ideal de cemento asfáltico con el cuál más adelante se desarrollará ensayos mecánicos que comprueben la resistencia de la mezcla a cargas de tráfico vehicular de manera óptima [23]. Otra Influencia de la escoria de acero respecto al ámbito de la construcción es que al adicionar este recurso junto con pavimento recuperado de la dosificación respecto al rejuvenecedor, también se determinó un efecto

respecto a la fibra de acero con el tiempo y la distancia de calentamiento en inducción de mezclas recuperadas [24].

Este proyecto de investigación tiene como objetivo general: Evaluar la influencia de la limadura de acero en los parámetros físico-mecánicos de una mezcla asfáltica en caliente. Asimismo, para su desarrollo se ha planteado diversos objetivos específicos. Por lo tanto, de manera inicial se determinará la dosificación óptima de limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica. A continuación, se procede a evaluar las propiedades mecánicas de la MAC modificada. Del mismo modo, se evaluarán las propiedades físicas de la MAC modificada. Posteriormente, se plantea realizar una comparación económica entre la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada. Y como ultimo objetivo, se va a evaluar la resistencia al desgaste de la MAC convencional y modificada.

Por último, se espera que los resultados a obtener cumplan con los estándares establecidos tanto por la normativa peruana como internacional, permitiendo introducir mejoras significativas en el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente.

Revisión de literatura

Antecedentes

Iberico V. P, desarrolló una investigación de tipo experimental correlacional con el objetivo de lograr un diseño óptimo de mezcla asfáltica mediante la adición de fibra de acero, comparándolo con una mezcla asfáltica convencional. Para ello, se empleó un asfalto PEN 60/70 y se establecieron diferentes grupos de mezcla según el porcentaje de fibra de acero incorporado: 0%, 5%, 10% y 12%. En total, se realizaron 48 ensayos, que incluyeron la elaboración de briquetas correspondientes a tres muestras por cada uno de los porcentajes evaluados. Los agregados gruesos utilizados fueron extraídos del río Huallaga, siendo posteriormente procesados y chancados para aprovechar su angularidad, lo cual mejora la adherencia al cemento asfáltico. Por su parte, el agregado fino provino de arena chancada extraída del río Cumbaza. Una vez obtenidos los agregados, se procedió a realizar los ensayos necesarios para determinar un contenido óptimo de cemento asfáltico (C.A.) del 5.5% y un contenido de fibra de acero del 5%. Los resultados indicaron un incremento del 0.58% en cuanto a la estabilidad de la mezcla con respecto a la mezcla convencional, así como un incremento del 2.85% en el flujo. Además, se verificó que todos los agregados utilizados cumplían satisfactoriamente con los requisitos normativos vigentes del MTC. La adición de fibras de acero, debido a sus características físicas, tuvo un impacto notable en el aumento de la resistencia y estabilidad respecto a la mezcla tradicional, lo que permitió confirmar la hipótesis general propuesta, que sostiene que incluir fibras de acero incrementa la resistencia a la deformación de la MAC. Asimismo, se evidenció una optimización de costos del 6.28% al comparar el diseño con fibra de acero frente a la mezcla asfáltica tradicional, representando una variación de S/ 15.8 por metro cúbico [25].

Siclane S. realizó una investigación de tipo aplicada, se trabajó con una población total de 54 briquetas, de las cuales se utilizó un muestreo de 9 muestras con el fin de establecer el nivel óptimo de cemento asfáltico (C.A.), distribuidas en tres muestras para cada porcentaje (7%, 13% y 21%). Posteriormente, al incorporar las tres dosificaciones de escoria siderúrgica (3%, 10% y 17%), se elaboraron 45 briquetas adicionales, es decir, 15 por cada proporción evaluada. En dicha investigación, se utilizó la incorporación de escoria siderúrgica con el objetivo de rehabilitar pavimentos flexibles, evaluando diversas propiedades de la mezcla, tales como la resistencia a la compresión, el ensayo Marshall utilizado para evaluar la estabilidad y el flujo, así como el coeficiente de permeabilidad. Los resultados obtenidos evidenciaron una tendencia creciente en la estabilidad a medida que se incrementaba el

porcentaje de escoria, por lo que se da soporte a la hipótesis de que la incorporación de escoria contribuye en la mejora de las propiedades del pavimento flexible. Debido que en una proporción del 3%, la estabilidad aumentó de 1149.3 kg en la mezcla convencional a 1149.8 kg en la mezcla modificada, manteniéndose estable el flujo en este porcentaje. Por otro lado, al evaluar una mezcla con un 10% de escoria siderúrgica, se observó una mejora notable en la estabilidad, alcanzando un soporte adicional de 306.8 kg respecto a la mezcla tradicional, la cual presentaba un mínimo de 830 kg. A partir de estos resultados, se determinó que las dosificaciones óptimas de escoria son del 3% y 10%, ya que cumplen con los rangos establecidos por la norma ASTM D3515[26].

A. Saleem y M Ismael, realizaron una investigación de tipo experimental, basada en pruebas de laboratorio, con la finalidad de analizar el comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con partículas de fibras de acero. Para tal fin, se trabajó con una población total de 81 briquetas, de las cuales se utilizaron 15 muestras para el ensayo Marshall de la mezcla patrón, y otras 15 muestras correspondientes a las mezclas modificadas con fibras de acero en proporciones de 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso total de la mezcla. De estas, se estableció la proporción óptima de cemento asfáltico. Asimismo, se llevaron a cabo diversos ensayos complementarios: para la resistencia a la compresión, se emplearon 6 muestras; para el índice de resistencia retenida (IRR), 24 muestras; para la prueba de seguimiento de ruedas, 16 muestras; y para el ensayo con compactador de rodillos, 5 muestras. Como resultado de los ensayos, se identificó que la adición de un 1.0% de fibra de acero mejoró de manera significativa el comportamiento de la mezcla asfáltica. Específicamente, se observó un incremento del 17.38% en el IRR y un aumento del 44% en el cociente Marshall respecto a la mezcla convencional. Además, en el ensayo de humedad inducida, se obtuvo una mejora del 46.39% en condiciones secas y del 71.96% en condiciones húmedas, lo cual evidencia un incremento en la resistencia frente al deterioro por humedad. Por último, los resultados de la prueba de seguimiento de ruedas confirmaron que dicha proporción es eficaz en la reducción del ahuellamiento. Por consiguiente, se concluye que la dosificación del 1.0% de fibra de acero es la más adecuada, ya que mejora la resistencia a los daños por humedad y la resistencia a la formación de surcos en el pavimento cumpliendo con la hipótesis planteada en su investigación la cual indica que al incorporar fibra de acero mejora las propiedades antes mencionadas [27].

A. Cetín y G. Oral realizaron una investigación de tipo experimental con el propósito de mejorar el desempeño de mezclas asfálticas porosas mediante la adición de fibra de basalto en proporciones de 0.2%, 0.4%, 0.6% y 0.8%, utilizando dos contenidos de betún: 6.0% y 6.5%.

Para ello, se trabajó con una población total de 120 briquetas, las cuales fueron distribuidas de acuerdo con el tipo de ensayo, garantizando así la validez de los resultados. En el ensayo de pérdida de partículas de Cántabro se emplearon 3 briquetas por cada una de las 10 combinaciones posibles entre los contenidos de betún y las dosificaciones de fibra, lo que representó un total de 30 muestras; esta misma cantidad se utilizó en el ensayo de resistencia a la tracción indirecta (IDT). Asimismo, en el ensayo de susceptibilidad a la humedad se consideraron 6 briquetas por combinación —3 acondicionadas y 3 sin acondicionar—, alcanzando un total de 60 muestras. A través de los ensayos de contenido de vacíos de aire y coeficiente de permeabilidad, se identificó que ambos parámetros disminuyeron conforme se incrementaron los porcentajes de betún y fibra, evidenciando un cierre progresivo en la estructura porosa de la mezcla. No obstante, se comprobó que las combinaciones con 0.2%, 0.4% y 0.6% de fibra junto con 6.0% de betún, así como las de 0.2% y 0.4% con 6.5%, superaron el valor mínimo requerido para el contenido de vacíos, lo que indicó una adecuada estabilidad volumétrica sin comprometer la permeabilidad. En el ensayo de Cántabro se evidenció que la adición de 0.2% de fibra redujo de forma significativa la pérdida de partículas, mejorando así la resistencia al desgaste superficial de la mezcla. Por su parte, en el ensayo de tracción indirecta se obtuvieron los mejores resultados con la combinación de 6.5% de betún y 0.2% de fibra, mientras que al utilizar proporciones superiores al 0.4%, la resistencia mecánica de la mezcla disminuyó, posiblemente debido a una distribución no homogénea del refuerzo. Con base en los resultados obtenidos, se confirmó la hipótesis de que la incorporación de fibra de basalto en mezclas asfálticas porosas incrementa su resistencia y durabilidad, siendo más efectiva cuando se emplea una proporción del 0.2% respecto al peso total de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) [28].

López G.; Gonzales L.; Higuera S, realizaron una investigación de tipo experimental, en donde se analizó como influye el óxido de hierro en las características mecánicas de la mezcla asfáltica MDC-10 mediante la metodología Marshall. Para ello, emplearon una población total de 155 especímenes, de los cuales 18 correspondieron a seis mezclas iniciales con porcentajes de asfalto entre 4.0% y 6.5%, elaboradas con 3 especímenes cada una, con el propósito de establecer el óptimo contenido de cemento asfáltico. Una vez establecido este valor en 6%, aplicaron dicho contenido fijo a cinco nuevas mezclas con óxido de hierro en proporciones de 2%, 4%, 6%, 8% y 10%, donde desarrollaron ensayos Marshall (15 especímenes), resistencia a la deformación plástica (10), módulo resiliente (30), resistencia a la fatiga (12 especímenes, solo para 5% y 7%), daño por humedad (60) y fricción mediante péndulo británico (10). A partir de estos ensayos, determinaron que el 5% de óxido de hierro ofrecía el mejor equilibrio

entre propiedades físicas y mecánicas, ya que observaron comportamientos tanto crecientes como decrecientes en los resultados. En términos de estabilidad, registraron una mejora notable con el 6% de óxido de hierro, mientras que el flujo permaneció dentro de los rangos establecidos por las especificaciones INVÍAS 2013 en todos los porcentajes. Identificaron que el 2% de pigmento excedió el límite de vacíos llenos de asfalto con un valor de 87.65%, y que todos los porcentajes cumplieron en cuanto a vacíos en agregados minerales, alcanzando un valor máximo de 19.71% con el 10% de hierro. También observaron que la gravedad específica bulk aumentó entre un 2.25% y 3.31%, debido a la granulometría fina del pigmento, y que la relación estabilidad-flujo fue aceptable en todos los casos, aunque con un aumento del 50% en la mezcla con 10%. Finalmente, con el ensayo de módulo resiliente, determinaron que a medida que incrementaron el contenido de pigmento, los valores también aumentaron, obteniendo desde 3100 MPa en la mezcla convencional hasta 4500 MPa con el 10% de hierro a 20 °C, y valores superiores a 10000 MPa a 5 °C para los porcentajes más altos. Con estos resultados comprobaron el potencial del óxido de hierro como modificador del desempeño mecánico de mezclas asfálticas [23].

Ghubade B. y Giripunje D, investigaron, mediante un estudio de tipo experimental, la incorporación de fibras de acero en mezclas bituminosas con el propósito de optimizar las propiedades de los pavimentos; en dicha investigación, la población estuvo compuesta por 30 muestras de mezcla tipo Dense Bituminous Macadam (DBM), distribuidas en dos grados (G-1 y G-2) y cinco niveles de contenido de fibra de acero medio (0%, 2%, 4%, 6% y 7%), utilizando tres muestras por cada combinación. Se propusieron determinar la influencia de la adición de acero en el flujo y la estabilidad de la mezcla asfáltica, así como en parámetros volumétricos como la densidad, los vacíos llenos de betún (VFB) y los vacíos en el agregado mineral (VMA), empleando para ello cemento asfáltico en los grados mencionados. Las fibras, con una longitud entre 8 y 10 mm, fueron obtenidas como chatarra industrial del proveedor ubicado en Mohali, derivadas del corte en máquina Hexa. También se elaboraron muestras patrón que sirvieron como referencia para comparar los resultados del método Marshall, con lo cual se evidenció que el flujo aumentó conforme se incrementó la dosificación de acero; además, se determinó que el grado G-1 mostró mayor estabilidad que el G-2 con valores de 22.48 kN y 20.02 kN respectivamente en VG-10, mientras que en VG-30 fue menor para G-1 (22.10 kN) y mayor para G-2 (23.5 kN). Al contrastar la mezcla modificada con la convencional, se observó un aumento porcentual en la estabilidad para G-1 (7.1% en VG-10 y 4.2% en VG-30) y para G-2 (4.68% en VG-10 y 3.2% en VG-30); asimismo, se concluyó que el porcentaje óptimo de fibra es 4%, ya que este valor produjo un

incremento del flujo en ambos grados respecto a la mezcla control, y una mejora en la estabilidad en G-1, aunque en G-2 la estabilidad disminuyó con VG-10 y aumentó con VG-30. En cuanto a la densidad, esta se incrementó en G-1 frente a la mezcla sin fibra, mientras que en G-2 el cambio fue poco significativo e incluso se redujo al incorporar el aglutinante, todo esto en relación con la mezcla tradicional como referencia. En esta investigación si cumple con la hipótesis planteada, demostrando que la incorporación de fibra de acero mejora las propiedades mecánicas como la estabilidad y resistencia a la deformación permanente de la MAC[29].

En el estudio de Jasni et al, se llevó a cabo una investigación experimental. En cuanto a la población de estudio estuvo conformada por 72 briquetas en total, que fueron todas las briquetas utilizadas para realizar los 4 tipos de ensayos. En cuanto a la muestra, se utilizó un total de 18 briquetas por cada tipo de ensayo, es decir, 3 briquetas por cada una de las 6 proporciones de fibra en los ensayos de Marshall, Pérdida por Cántabro, Módulo resiliente y Creep dinámico. La investigación sobre la adición de fibra de acero para el mejoramiento mecánico de mezclas bituminosas buscó como fin aumentar la resistencia de la mezcla asfáltica mediante la utilización de este residuo. Para ello, se elaboraron especímenes convencionales y modificados con 2, 3, 4, 5 y 6% de incorporación de fibra de acero. Estas muestras fueron compactadas con 50 golpes por cada lado, utilizando el compactador Marshall, y luego se sometieron a ensayos ya mencionados. Los resultados obtenidos mostraron que a una incorporación de 0.3% de fibra de acero se presentó una mejor estabilidad y rigidez. Además, al 0.5% de fibra de acero, se logró una optimización en el módulo de fluencia de la mezcla a 25 °C, y al 0.4% de fibra se observó una mejora en la mezcla a 40 °C en comparación con la mezcla convencional. Para llevar a cabo el ensayo de desgaste Cántabro, se mantuvieron las muestras a una temperatura de 25 °C durante 6 horas antes de someterlas a los ensayos. Después de este tiempo, se pesaron y se colocaron en la máquina de los Ángeles sin las esferas de acero. Los resultados mostraron que al 0.4% de incorporación de fibra de acero se logró un menor desgaste en la muestra al ser sometida a 300 rpm. En esta misma dosificación de fibra, se obtuvo un buen resultado en cuanto al desgaste a 200 rpm, con un valor de 1.29%, menor al 1.43% obtenido para la mezcla convencional. Para 100 rpm, se observó un menor porcentaje de desgaste al 0.4% de fibra de acero, aunque este fue mayor al de la mezcla patrón, que obtuvo un valor de 0.53%. Por otro lado, en el ensayo de fluencia dinámica, se mostró una tendencia de disminución de deformaciones a medida que aumentaba el porcentaje de acero. El resultado indicó que el mejor porcentaje fue el 0.4% de fibra de acero, evaluado a temperaturas de 25 °C y 40 °C, con

valores de deformación de 1023.8 y 5440.4, respectivamente. Asimismo, el 0.5% de contenido de acero presentó una deformación permanente más alta en comparación con el resto de las mezclas evaluadas a 25 °C, mientras que, para 40 °C, la mezcla con 0.4% en proporción de fibra de acero fue menos propensa a sufrir deformaciones. Esta investigación abala la hipótesis planteada en la investigación ya que demuestra que al adicionar fibra de acero en la mezcla se mejora el desempeño mecánico y las propiedades volumétricas[30].

Base teóricas

Definición de conceptos básicos

Limadura de acero

Consiste en un material metálico que es obtenido en procesos como cortes con una máquina o equipo radial que contiene una barra de acero, por lo general es considerada como un residuo en talleres mecánicos o empresas dedicadas a rubro metalúrgico [31].

Agregado fino

Es el agregado que tiene partículas que logran pasar a través del tamiz de mallas de 2.5mm y no pasan o son retenidos en la malla de 2mm de diámetro [32].

Agregado grueso

Son agregados cuyo origen es la disgregación natural o mecánica de algunas rocas, además son retenidos en el tamiz de 4.75mm de diámetro (N°4) [32].

Asfalto

Es una sustancia que al mezclarse con agregados como la arena o la gravilla son muy útiles para el pavimento de caminos y en entre otras de sus funciones es un óptimo revestimiento con capacidad impermeable tanto de muros como de tejados [33].

Mezcla asfáltica

Considerada un concreto de tipo bituminoso donde el asfalto junto con materiales de origen mineral como son las mezclas de áridos y finos que son mezclados juntos, se logran extender en capas compactadas [33].

Asfalto modificado

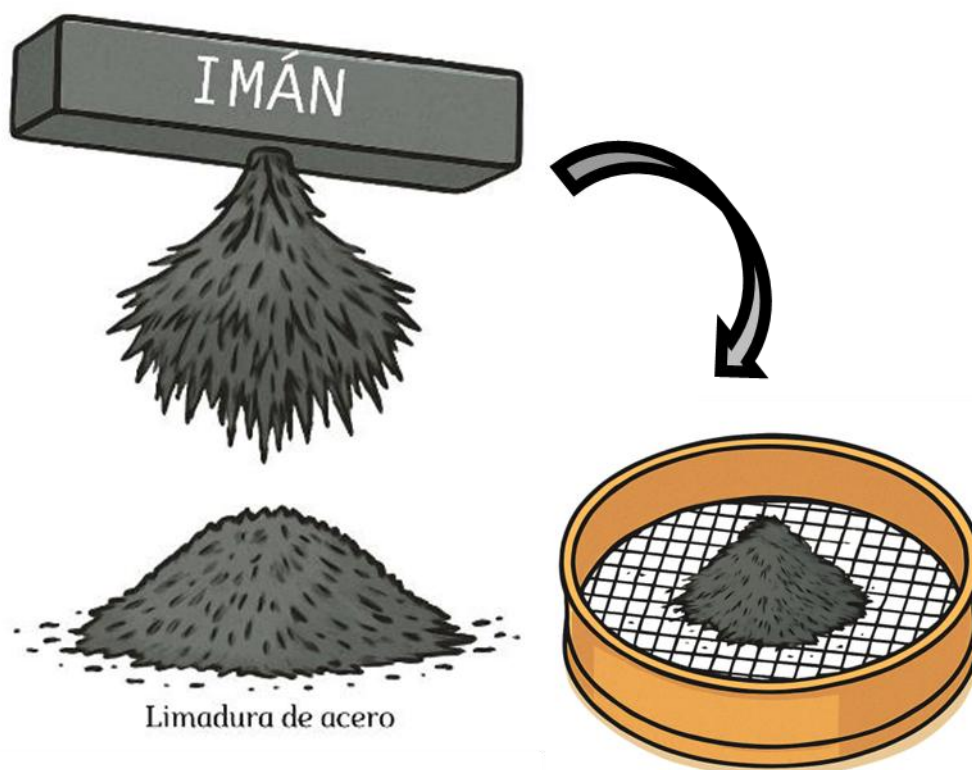
Es el resultado de la incorporación de polímeros u otros modificadores en asfalto usadas para mejorar las propiedades tanto físicas como geológicas, así mismo logra disminuir la sensibilidad a la temperatura y a la vez de la humedad [33].

Limadura de acero

Proceso de obtención de limadura de acero

La limadura de acero puede obtenerse como subproducto del reciclaje tanto en procesos de siderurgia (grandes empresas), así como en talleres de tornería o soldadura. En grandes procesos, durante operaciones como la laminación, el corte o el afilado de piezas metálicas, se desprenden partículas finas de acero que son captadas mediante sistemas de filtrado o separación magnética, enfriadas, limpiadas y clasificadas para su posible reutilización. Por otro lado, en los talleres de tornería, al mecanizar piezas mediante tornos, fresadoras o esmeriles, se generan virutas o limaduras que se recogen manualmente con imanes, a eso se le llama proceso de imantación [34]. En ambos casos, la limadura se considera un residuo industrial reciclable.

Ilustración 1 Procedimiento de obtención de la Limadura de acero (imantación)



Fuente: Elaboración propia

Tiempo de conservación

El tiempo de conservación del acero, en términos de su durabilidad y resistencia, depende de factores como las condiciones ambientales, el tratamiento al que se haya sometido y su exposición a agentes corrosivos. El acero, al ser un material susceptible a la oxidación, tiende a deteriorarse con el tiempo si no se encuentra en buenas condiciones y/o protegido adecuadamente, teniendo así una vida útil de 5 años [35], mientras que si se encuentra en buen estado de conservación puede durar hasta 40 años [36].

Forma de transporte

La limadura de acero suele transportarse en sacos resistentes, cilindros metálicos o contenedores especiales que eviten su dispersión y faciliten su manipulación. En el caso de obras de gran envergadura, los costos de transporte pueden incluirse dentro de la logística general del proyecto o calcularse por separado como una partida específica denominada flete terrestre.

Ilustración 2 Forma de transporte de limadura de acero



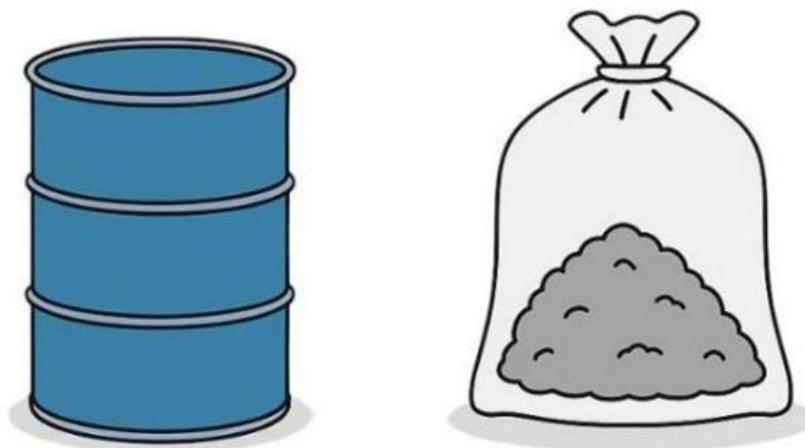
Fuente: Elaboración propia

Almacenaje

El almacenamiento de la limadura de acero debe realizarse en espacios secos, bien ventilados y alejados de fuentes de humedad para evitar la oxidación del material. Es recomendable conservarla en sacos cerrados, recipientes herméticos que impidan su

dispersión y minimicen el riesgo de contaminación. Además, el área de almacenamiento debe señalizarse adecuadamente y cumplir con las normas de seguridad industrial, especialmente si se manipulan grandes volúmenes del material.

Ilustración 3 Forma correcta de almacenamiento de limadura de acero



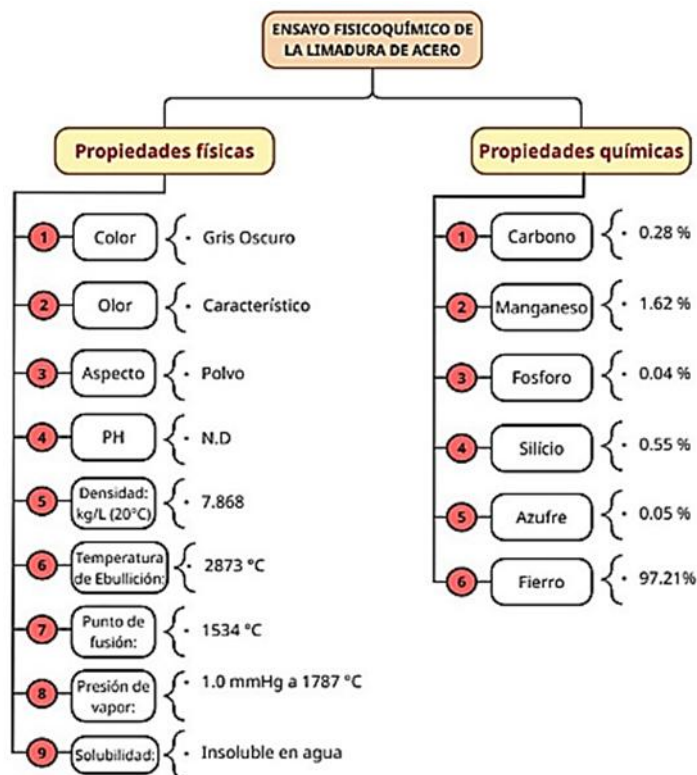
Fuente: Elaboración propia

Determinación de las características fisicoquímicas de la limadura de acero

Para determinar las características fisicoquímicas de la muestra de limadura de acero, estas al provenir de grandes empresas, cuentan con su ficha técnica. Sin embargo, al ser producto de reciclaje es necesario de hacer análisis de laboratorio, para el cual se toma muestra del material y se almacena de manera hermética, es decir que se encuentre limpio, luego son sometidas al ensayo fisicoquímico, para esta investigación fue sometida a dicho ensayo en la que se obtuvo que contiene manganeso, este elemento químico mejora la susceptibilidad térmica de la MAC, es decir reduce su sensibilidad a los cambios de temperatura. En otras palabras, se busca que las propiedades del asfalto y el concreto (como su rigidez, viscosidad y resistencia a la deformación) varíen menos cuando la temperatura ambiente sube o baja [37]. Por otro lado, el silicio aporta a la mezcla asfáltica mejorando la estabilidad y durabilidad [38]. Así mismo el azufre aporta a la mezcla asfáltica una mejor trabajabilidad y en aspectos ecológicos relacionados con el calentamiento de las mezclas, lo cual permite reducir la temperatura de mezclado [39]. Finalmente, el fierro aporta en la mezcla asfáltica mejorando el comportamiento mecánico, ya que aumenta su rigidez estructural y refuerza su capacidad para

resistir esfuerzos de tracción, ruptura y deformación permanente, lo que contribuye a una mayor durabilidad y estabilidad del pavimento bajo condiciones de carga repetitiva [40].

Gráfico 1 Esquema de propiedades fisicoquímicas de la limadura de acero



Fuente: Elaboración propia

Ensayo Marshall

Es un método utilizado para diseñar MAC, cuyos materiales granulares tendrán un tamaño máximo de 25mm o menor. Este método hace uso de especímenes de prueba estandarizados a una altura de 0.064m y 0.102m de diámetro. El presente método cuenta con dos aspectos principales, uno es la densidad y el contenido de vacíos, mientras que la otra se enfoca en evaluar la estabilidad y el flujo de las probetas en su estado compactado.

Granulometría:

En este punto el método hace uso de una gráfica semilogarítmica con el objetivo de obtener la granulometría óptima, cuya ordenada representa el porcentaje del material y la abscisa representa los diámetros de las mallas en mm. Para el diseño de una MAC hace falta seleccionar una curva granulométrica cerrada o densa que esté en considerando el tamaño máximo nominal del agregado y el otro parámetro que son las líneas de control [41].

Especificaciones y criterios de diseño

Seleccionar un porcentaje asfáltico en promedio del límite de vacío de aire, que según el método el porcentaje óptimo es de 4%.

Las propiedades tanto medidas como calculadas en función a la mezcla asfáltica deberá ser evaluada comparándola con las siguientes tablas

Tabla 1 Criterio de diseño de mezclas Marshall

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		carpeta y base		carpeta y base	
Criterio de mezcla	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad, (N) (lb)	3336		5338		8006	
	750	----	1200	----	1800	----
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver Tabla 2.2					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Fuente: Manual de carretas especificaciones técnicas EG-2013

Tabla 2 Mínimo Porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8.	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2.	13.0	14.0	15.0
19	3/4.	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

Fuente: Manual de carretas especificaciones técnicas EG-2013

Evaluación de una mezcla asfáltica

En caso existan fallas en las pruebas iniciales de mezclas asfálticas aun cumpliendo los criterios de diseño, es necesario hacer un rediseño de la mezcla, esto se hará al realizar un cambio en la graduación de los agregados ajustando ciertos porcentajes ya usados. En caso este ajuste falle lo recomendable es tomar serias consideraciones:

a) Vacíos bajos y baja estabilidad:

Una disminución en el porcentaje de asfalto puede representar una baja durabilidad del pavimento además de generar una fracturación e incremento en la permeabilidad de la estructura. La solución para este caso es un incremento en la adición de agregado grueso, además incorporando un tipo de arena procesada los vacíos pueden mejorar sin poner en riesgo la estabilización de la mezcla asfáltica.

b) Vacíos bajos y estabilidad satisfactoria

La causa de este estado es a causa de un flujo plástico o en el caso donde el pavimento ha estado sometido al tránsito durante un período determinado, lo que provoca una reorientación de las partículas, así como también puede deberse a una compactación extra.

c) Vacíos óptimos y baja estabilidad

Este caso indica una deficiencia en el agregado, así que una de las recomendaciones para mejorarlo es utilizar productos de trituración o también como en el caso anterior aumentar el contenido de agregado grueso.

d) Vacíos altos y estabilidad satisfactoria

Este caso se asocia con una alta permeabilidad, este permite una circulación tanto del aire como el agua a través del pavimento ocasionando su envejecimiento prematuro.

e) Vacíos altos y baja estabilidad

Para dar solución a este caso se debe ajustar el volumen de vacíos, si es que esto no mejora la estabilidad se tendrá que evaluar estrictamente la calidad de los materiales [42].

Pruebas a las muestras asfálticas compactadas

Con el fin de determinar las propiedades tanto volumétricas como mecánicas el método Marshall realiza tres distintas pruebas:

a. Determinación de la gravedad específica

Basando en la norma ASTM D1188 se lleva a cabo la presente prueba después de que el espécimen haya sido enfriado, para la determinación de ello, se hace uso de la parafina también conocida con ASTM D2726.

b. Prueba de estabilidad y flujo

Luego de haberse determinado el parámetro anterior se realizará el ensayo de estabilidad y flujo, cuyo procedimiento es sumergir en baño María el espécimen a una óptima temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) por un periodo de 30 hasta 40 min. Posteriormente se aplicará una carga a una deformación de 5" por minuto, hasta lograr la falla, en este punto se obtendrá la carga máxima. De igual forma, si no se cuenta con un sistema de registro automático, se debe ubicar un medidor de flujo sobre la barra guía y, al detectar que la carga empieza a disminuir, registrar ese valor como el flujo final.

c. Análisis de vacíos

Este análisis se realiza luego de completar los ensayos anteriores de estabilización y flujo, esto para cada espécimen. El hallazgo del porcentaje de asfalto absorbido, al igual que la de los vacíos, se basa en la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del agregado total, parámetros que también permiten calcular el porcentaje de VLLA así como el porcentaje de VMA [42].

Módulo de resiliencia ASTM D7369

El ensayo de módulo de resiliencia según la norma ASTM D7369 consiste en preparar y evaluar muestras de mezcla asfáltica mediante cargas repetidas indirectas, con el fin de determinar su capacidad elástica ante esfuerzos aplicados. Este procedimiento permite calcular el módulo resiliente, una propiedad fundamental que representa la resistencia del material a deformaciones bajo cargas cíclicas, siendo clave para el diseño y evaluación de pavimentos [43].

Método de prueba estándar para Resistencia a la tracción indirecta (IDT) ASTM D6931

Este es un ensayo que consiste en poner a prueba muestras de mezcla bituminosa con el objetivo de determinar su resistencia a la tracción indirecta (IDT). El procedimiento que se lleva a cabo es cargando una muestra cilíndrica en su plano diametral y vertical a una constante velocidad de deformación y siguiendo la temperatura especificada. Lo que mide este ensayo es la carga máxima en el momento de falla, este dato se registra y se pasa a calcular la resistencia IDT de cada muestra. El dispositivo que se usa para el IDT es un dinamómetro de gato y anillo de carga o en todo caso una máquina de prueba mecánica de acuerdo con el método de prueba D6927 [44].

Método de prueba de pérdida por desgaste o ensayo de cantabro

El ensayo de Cántabro (también llamado ensayo de desgaste por abrasión en seco) es una prueba de laboratorio que se utiliza para evaluar la resistencia al desgranamiento de una mezcla asfáltica, especialmente en mezclas abiertas como las drenantes o porosas. Este ensayo es fundamental para determinar la durabilidad de la mezcla ante las acciones del tráfico y las condiciones climáticas [41, 45].

Diseño de mezcla asfáltica en caliente utilizando el Método de Marshall

Materiales

a. Agregados Gruesos

De acuerdo con el MTC-2013, los conocidos agregados de origen pétreos utilizados para la elaboración de mezclas bituminosas deberán poseer tal condición, ya que, al aplicarle una capa de materia asfáltica, esta no logre desprenderse por causa del agua o por el tránsito [46].

En cuanto a las proporciones de agregados, estos quedarán retenidos en la malla N°4 para proceder con la trituración de grava o bien sea roca e incluso una combinación de las dos, estas partículas deberán estar en buenas condiciones ya sea, limpios, duraderos y resistentes. Cabe resaltar que estos agregados deben cumplir los siguientes requerimientos:

Tabla 3 Requerimientos de los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m)	
		< 3000	> 3000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC. E- 209	18% máx	15% máx
Abrasión Los Ángeles	MTC. E- 207	40% máx	35% máx
Adherencia	MTC. E- 517	+95	+95
Índice de durabilidad	MTC. E- 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC. E- 210	85/50	90/70
Sales Solubles totales	MTC. E- 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción	MTC. E- 206	1.0% máx	1.0% máx

Fuente: Manual de carretas especificaciones técnicas EG-2013

b. Agregados Finos:

Según el MTC-2013 la cantidad de este agregado debe pasar la malla N°4, estos granos deberán cumplir características como el ser duros, estar limpios y contar con una superficie tanto rugosa como angular. Además, este componente deberá satisfacer los siguientes requisitos [46].

Tabla 4 Requerimientos de los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m)	
		< 3000	> 3000
Equivalente de arena	MTC. E-114	60	70
Angularidad de agregado fino	MTC. E-222	30	40
Azul de metileno	ASHTO TP 57	8 máx	8 máx
Índice de plasticidad (malla N° 40)	MTC. E-111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC. E-209	-	18% máx.
Índice de durabilidad	MTC. E-214	35 mín	35 mín.
Índice de plasticidad (malla N° 200)	MTC. E-111	4 máx	NP
Sales Solubles totales	MTC. E-219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción	MTC. E-205	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente: Manual de carretas especificaciones técnicas EG-2013

c. Cemento asfáltico:

Es un componente sólido ya sea de origen natural o puede ser fabricado a partir de ciertos compuestos naturales mediante oxidación o destilación, es considerado óptimo para pavimentos que requieran características como flexibilidad, durabilidad e impermeabilizante. [46] .Este componente para ser debidamente seleccionado debe cumplir con lo siguiente:

Tabla 5 Selección para tipo de cemento asfáltico

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

Fuente: Manual de carretas especificaciones técnicas EG-2013

d. Polvo Mineral:

También conocido como filler sirve como un relleno de vacíos o espesante de mezclas asfálticas ayudando a mejorar la adherencia de algunos compuestos como la cal hidratada, está regida bajo la norma AASHTO -M303.

Finura: Contribuye a disminuir el volumen de vacíos en la mezcla, previniendo de esta manera el incremento del contenido de ligante asfáltico.

Modificación del comportamiento reológico:

Este parámetro generalmente aumenta la capacidad de resistencia a la deformación de una mezcla, sin alterar las características naturales y viscosas del ligante.

Estabilizante frente al agua:

En consecuencia, al reducir la porosidad en la estructura se impide la entrada de agua, lo que contribuye a mejorar la resistencia al desplazamiento que ocurre entre el agua y el ligante.

Proceso de obtención de MAC

Preparación de la MAC

El proceso de preparación de la mezcla asfáltica en caliente comienza con la selección y almacenamiento de materiales, eso se da luego de que estos hayan pasado una serie de ensayos respectivos detallados anteriormente. Para ello, se eligen agregados minerales según sus características físicas, como tamaño, forma y resistencia. Luego, estos se almacenan por separado en tolvas específicas, garantizando su disponibilidad por tipo granulométrico (agregados tanto para mezcla convencional y modificada). Al mismo tiempo, el cemento asfáltico se mantiene en tanques especiales, calefaccionados constantemente para conservar

una temperatura adecuada que permitiera su manejo fluido, generalmente entre 135 °C y 160 °C, este aspecto es importante y para ello se hace la verificación con la ficha técnica.

Posteriormente, se procede al secado y calentamiento de los agregados. Estos son introducidos en un tambor secador rotatorio, donde se elimina completamente la humedad residual. Durante esta etapa, los agregados alcanzan temperaturas que oscilaron entre 150 °C y 170 °C, lo cual facilita la futura adherencia del asfalto y evitó reacciones indeseadas por presencia de agua.

Una vez calientes, los agregados pasan por un sistema de tamizado y dosificación. Se separan por tamaños mediante cribas vibratorias, y luego son dosificados según las proporciones establecidas en el diseño de la mezcla, para ello se cuenta con balanzas electrónicas. Esta etapa asegura una combinación granulométrica adecuada, que permite obtener una mezcla densa, estable y resistente.

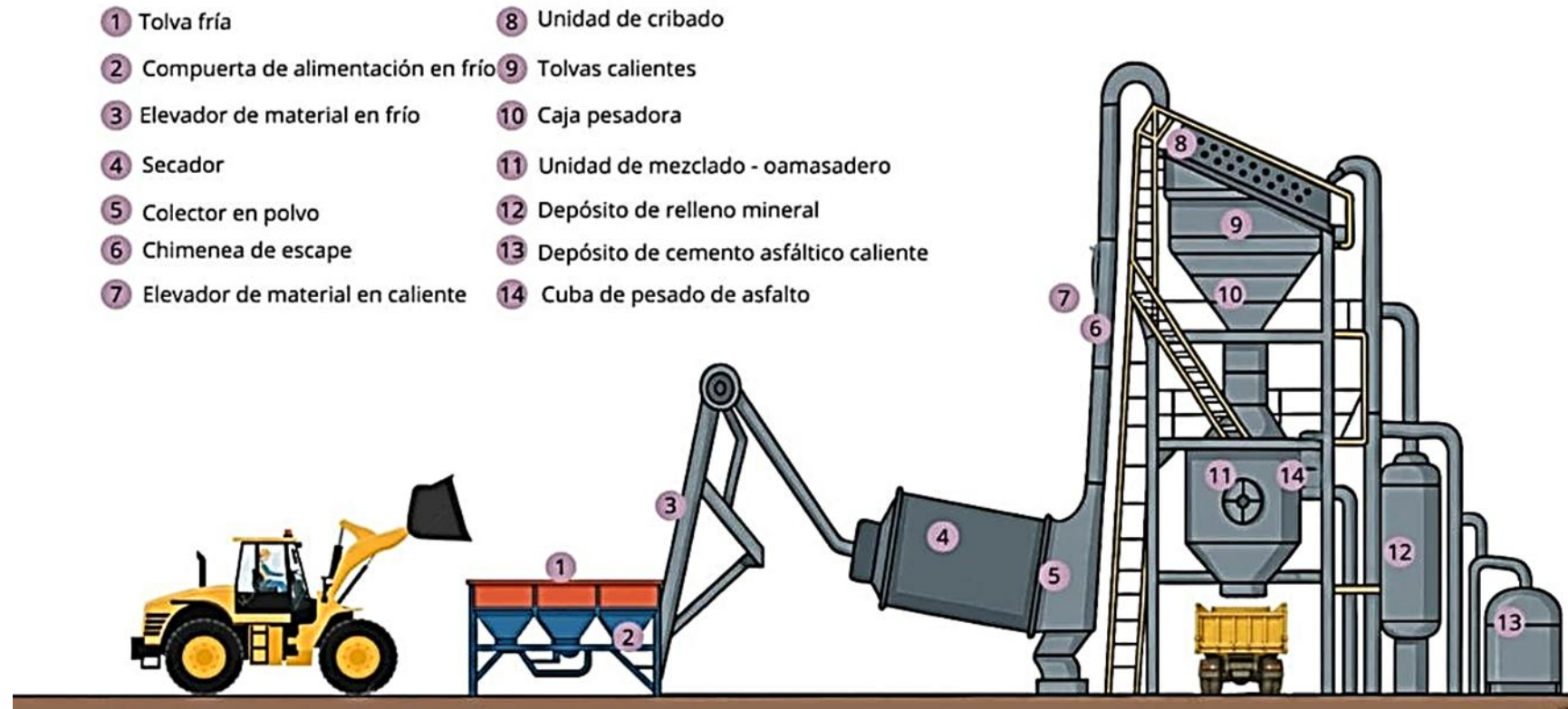
En la siguiente fase, se realiza el mezclado con el cemento asfáltico en este caso el PEN 60/70. Los agregados dosificados son introducidos en una mezcladora, donde se añade el cemento asfáltico caliente. Se mezclan todos los componentes hasta lograr una masa uniforme, con recubrimiento completo de las partículas minerales. La temperatura final de la mezcla se tiene que mantener entre 140 °C y 165 °C, dependiendo del tipo de ligante y de las condiciones ambientales.

Luego, se lleva a cabo la carga y transporte de la mezcla ya preparada. Esta es descargada en volquetes y se tiene en cuenta que debe conservar la temperatura y evitar pérdidas térmicas durante su traslado.

Finalmente, se abastece en la maquina pavimentadora que se encarga extender de manera uniforme la mezcla. A continuación, se compacta con rodillos mientras aún se mantiene la temperatura a 120 °C, lo cual es fundamental para asegurar la densidad deseada y la durabilidad del pavimento.

A continuación, se muestra el equipo de mezclado, el proceso de este y vaciado de MAC:

Ilustración 4 Equipo de mezclado de MAC



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 5 Fase inicial del proceso de mezclado de MAC



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 6 Fase final, proceso de colocación de carpeta asfáltica y posterior compactación



Fuente: Elaboración propia

Composición de la MAC

La mezcla asfáltica en caliente está compuesta por una combinación de agregados minerales y cemento asfáltico, unidos mediante un proceso térmico que permite obtener una mezcla homogénea, flexible y resistente. Esta mezcla es ampliamente utilizada en la construcción y mantenimiento de pavimentos flexibles debido a su capacidad para soportar cargas pesadas y condiciones climáticas variables.

Los agregados minerales constituyen entre el 90 % de agregados pétreos, un 5% de filler y otros 5% de asfalto [47], aunque todo depende del diseño de mezcla. Estos incluyen una combinación de grava, arena, polvo mineral (filler), que se seleccionan cuidadosamente en función de su granulometría, forma y resistencia. Los agregados proporcionan la estructura y la resistencia mecánica de la mezcla, además de contribuir a su estabilidad volumétrica.

El cemento asfáltico, también conocido como asfalto o betún, es un subproducto del proceso de refinación del petróleo. En una mezcla asfáltica en caliente, este material representa aproximadamente entre el 5 % y el 7 % del total y cumple una función fundamental como ligante. Gracias a sus propiedades adhesivas e impermeables, el asfalto recubre completamente las partículas de los agregados, otorgándoles cohesión, resistencia al agua, flexibilidad y capacidad para soportar las deformaciones causadas por el tránsito y las variaciones de temperatura.

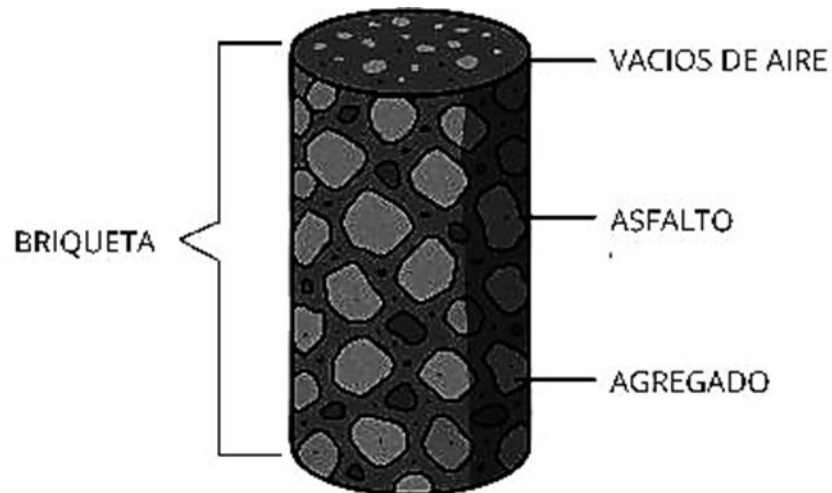
Además de los componentes principales el agregado y ligante, es común la incorporación de aditivos o mejoradores en la mezcla. Estos elementos adicionales pueden estar orientados a optimizar propiedades específicas, tales como la durabilidad del pavimento, la resistencia a la fatiga, la reducción de la deformación permanente o una mejor adherencia entre el asfalto y los agregados. El uso adecuado de estos modificadores contribuye significativamente al desempeño funcional y estructural del pavimento.

La estructura interna de una mezcla asfáltica, representada en la imagen tomada de [48], proporciona una representación esquemática de la estructura interna de una mezcla asfáltica, en la que se observa la interacción entre los agregados, el ligante asfáltico y los diferentes tipos de vacíos presentes. El agregado forma el esqueleto resistente de la mezcla, brindando soporte mecánico, mientras que el asfalto efectivo se adhiere a su superficie, actuando como el elemento que une y cohesiona el conjunto.

En cuanto a los vacíos, existen distintos tipos con funciones específicas. Los vacíos de aire son necesarios para proporcionar flexibilidad y permitir el drenaje del pavimento. También se encuentran vacíos dentro de los agregados que son permeables al agua o al asfalto. Parte del

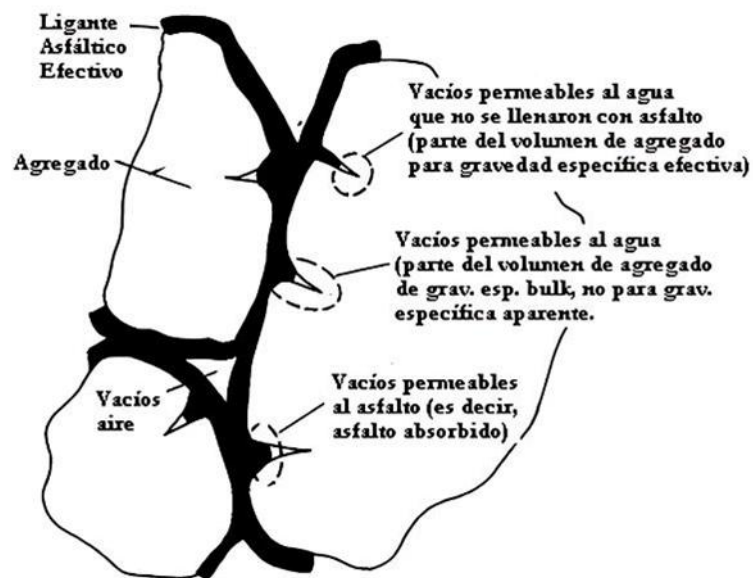
asfalto puede ser absorbido por los agregados más porosos (asfalto absorbido), mientras que otra parte permanece en la superficie como ligante efectivo. Este equilibrio entre vacíos, agregados y asfalto es crucial, ya que un diseño incorrecto podría comprometer la durabilidad, estabilidad y desempeño del pavimento.

Ilustración 7 Composición de la MAC



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 8 Composición interna de MAC



Fuente: S. Minaya González, Diseño moderno de pavimentos asfálticos.

Materiales y métodos

Tipo de investigación

Esta investigación es aplicada, ya que se basa en conocimientos previos para abordar y resolver un problema específico y real. En este caso, el estudio se centra en analizar las propiedades físicas y mecánicas de una MAC al reemplazar el agregado fino por limadura de acero. Asimismo, se considera una investigación de tipo experimental, debido a que se llevarán a cabo ensayos como granulometría, dosificación, índice de plasticidad y angularidad, con el objetivo de evaluar detalladamente si la limadura de acero presenta un comportamiento adecuado para ser utilizada como agregado fino en mezclas asfálticas. Estas pruebas se realizarán con diferentes proporciones: 0% como mezcla convencional y 0.75%, 1.5% y 3% como mezclas modificadas.

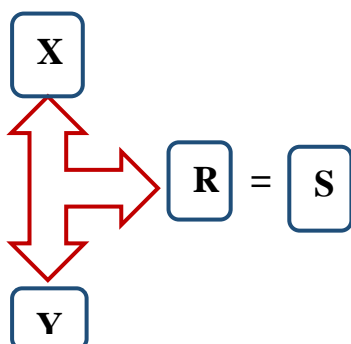
Nivel de investigación

Esta investigación corresponde a un nivel explicativo y a la vez descriptivo, ya que detalla las propiedades de la limadura de acero y la MAC tanto en estado fresco como endurecido, con el fin de comprobar si la sustitución de limadura de acero es óptima para ser usada como agregado fino y como es que esta modifica las propiedades tanto físicas como mecánicas de la mezcla asfalto.

Diseño de investigación

Presenta un diseño cuasiexperimental, puesto que se realizó una selección de aquellos grupos de mezcla asfáltica, en donde se relacionará la variable independiente sobre la variable dependiente, este tipo de investigación se encuentra entre un estudio experimental y un observacional lo cual constituye una forma eficaz de obtener los resultados necesarios para verificar nuestra hipótesis.

Ilustración 9 Diseño de la investigación



X: Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una MAC.

Y= Ensayo Marshall

R= Muestras

S=Diseño

Enfoque de investigación

La investigación es cuantitativa, ya que se pretende medir y analizar numéricamente los datos obtenidos a partir de la prueba Marshall, así como los relacionados con la variable independiente, con el propósito de evaluar si las propiedades de la MAC mejoran o no al agregar la limadura de acero en diferentes dosificaciones.

Hipótesis

El reemplazo de una fracción del agregado fino por limadura de acero varía las propiedades de una MAC.

Población y muestra

Población

En cuanto a la población corresponde a la cantidad de briquetas con y sin sustitución de agregado fino por limaduras de acero en dosificación para mezcla asfáltica de 0%, 0.75%, 1.5% y 3%, haciendo un total de 118 briquetas.

Muestra

El cálculo de la muestra en esta investigación se estableció en función de las normas técnicas específicas correspondientes a cada uno de los ensayos realizados. En primer lugar, para el ensayo Marshall, se aplicó la norma MTC E504, la cual exige un mínimo de tres especímenes por cada punto de contenido de asfalto evaluado. En este caso, se consideraron cuatro puntos, lo que dio como resultado un total de 12 briquetas.

En cuanto al ensayo Cántabro, se utilizó inicialmente la norma MTC-E515, que establece la preparación de al menos tres muestras por formulación para analizar la pérdida por desgaste en seco. No obstante, también se tomó en cuenta la norma UNE-EN 12697-17, que recomienda realizar el ensayo tanto en estado seco como húmedo. En consecuencia, se consideraron 8 briquetas para cada estado, con el propósito de obtener resultados más representativos y comparativos.

Respecto al ensayo Lottman, orientado a evaluar la resistencia a la humedad, se siguió la norma AASHTO T 283, la cual requiere seis especímenes, divididos en tres acondicionados y tres no acondicionados, permitiendo así calcular el índice de retención de resistencia (TSR). Sin embargo, con el objetivo de ampliar el análisis, se trabajó con un total de 16 briquetas,

distribuidas equitativamente entre mezcla convencional y mezcla modificada (8 para cada una).

Por su parte, para el módulo de resiliencia, se aplicó la norma ASTM D 4123-82, que establece la elaboración de tres especímenes por condición evaluada, lo que permitió examinar el comportamiento elástico de las mezclas bajo distintas situaciones.

Finalmente, en el ensayo de tracción indirecta, se siguió la norma ASTM D6931, que estipula la utilización de tres cilindros por tipo de mezcla, con el fin de determinar su resistencia a la tensión diametral. En este caso, se emplearon 8 muestras para la mezcla convencional y 8 para la modificada, lo que permitió obtener resultados comparativos entre ambas formulaciones.

Todos los ensayos cumplieron e incluso se superó el número mínimo de especímenes exigido por las normas correspondientes, asegurando de esta manera la confiabilidad, representatividad y validez técnica

Tabla 6 Muestreo para determinar el porcentaje óptimo de PEN (%) en ensayo Marshall

Ensayo	Patrón/ Acero	Contenido de asfalto	PEN 60/70				Parcial
			4.50	5.00	5.50	6.00	
Marshall		Patrón	3.00	3.00	3.00	3.00	12.00
		0.75	3.00	3.00	3.00	3.00	12.00
		1.50	3.00	3.00	3.00	3.00	12.00
		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	12.00
Total							48.00

Tabla 7 Muestreo para ensayos con MAC convencional y modificada

Ensayos	Patrón/Acero	PEN 60/70		Parcial	
		% óptimo de asfalto (para patrón y cada % de acero)			
Desgaste	Estado	Patrón	8.00	8.00	
	Seco	Sustitución	8.00	8.00	
	Estado	Patrón	8.00	8.00	
	Húmedo	Sustitución	8.00	8.00	
Lottman	Estado	Patrón	4.00	4.00	
	Seco	Sustitución	4.00	4.00	
	Estado	Patrón	4.00	4.00	
	Húmedo	Sustitución	4.00	4.00	
Módulo de resiliencia	Patrón	3.00	3.00	3.00	
	Sustitución	3.00	3.00	3.00	
Tracción indirecta	Patrón	8.00	8.00	8.00	
	Sustitución	8.00	8.00	8.00	
Total					70.00

Tabla 8 Número de briquetas total para los ensayos

Ensayos	Parcial
Marshall	48.00
Desgaste	32.00
Lottman	16.00
Módulo de resiliencia	6.00
Tracción indirecta	16.00
Total	118.00

Fuente: Elaboración propia

Criterio de selección

Obtención de agregados

El agregado grueso como la piedra chancada se obtuvo de la CANTERA TRES TOMÁS, que está ubicada en el departamento de Lambayeque; mientras que el agregado fino se extrajo de la cantera la victoria que pertenece al distrito de Pátapo. Se optó por combinar agregados para cumplir con la granulometría para la MAC, según como establece el MTC.

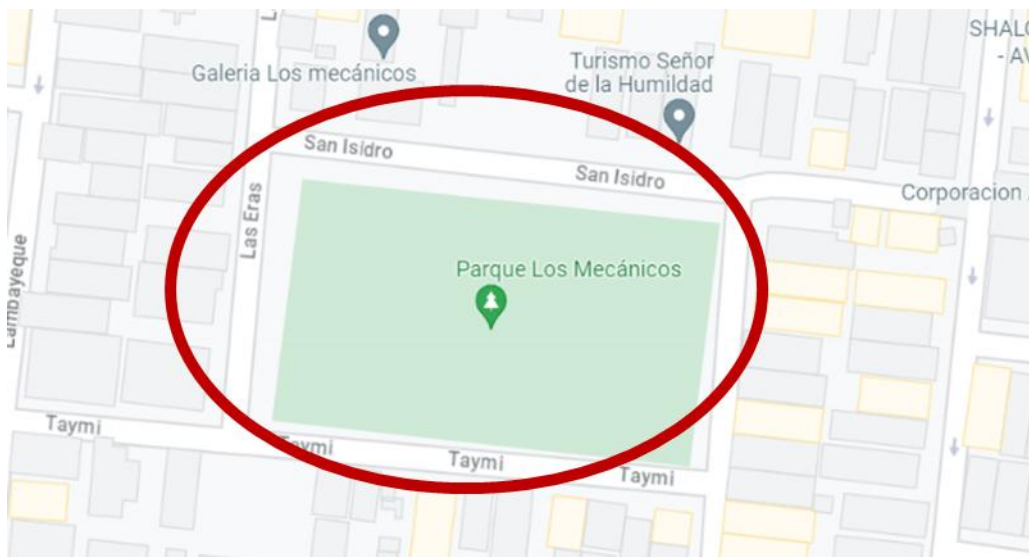
Ilustración 10 Visita a la cantera Las Tres Tomas



Obtención del residuo de acero

Para la obtención de la limadura se visitó a talleres mecánicos y de soldadura también llamados torneros, donde por lo general desechan este recurso teniendo una mala disposición final, por lo que se opta por reaprovechar aquellos recursos que son considerados como desechos.

Ilustración 11 Ubicación del tornero donde se obtuvo la limadura de acero



Fuente: Google Maps

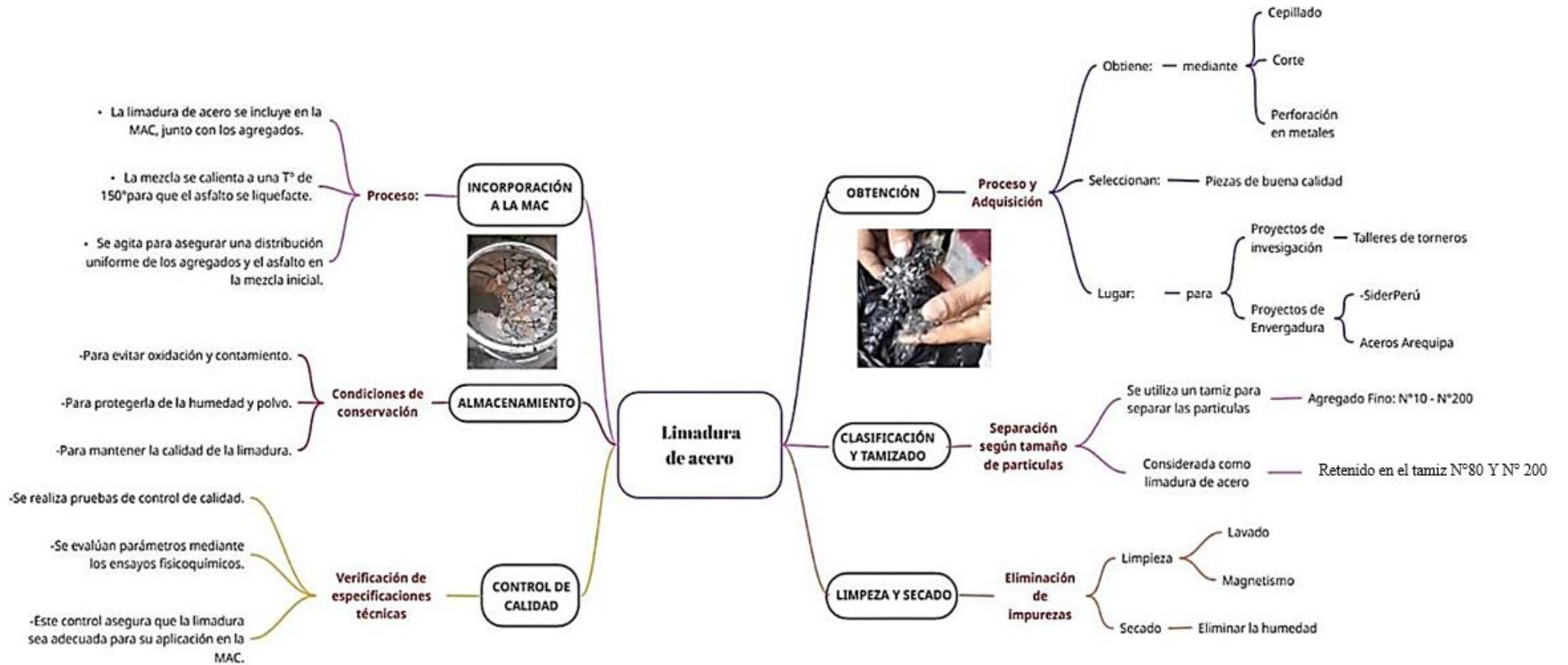
*Ilustración 12
Selección del material
ferroso mediante un imán*



*Ilustración 13
Recolección en saco de
la limadura de acero*



Gráfico 2 Esquema de obtención y uso de la limadura de acero



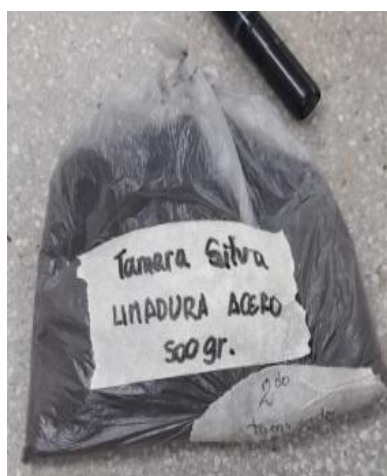
Fuente: Elaboración propia

Caracterización de la limadura de acero

Una vez recolectada la limadura de acero, se procede a tamizarlo por las mallas que establece la norma para agregado fino, seleccionando el material que es retenido por la malla N°80 y N°200, debido a que lo retenido en estas mallas tiene apariencia de limadura.

Una vez hecho este proceso recolectamos 500 gr. de la muestra y enviamos al laboratorio “Laboratorio de Servicios a la Comunidad e Investigación (LASACI)” que queda en la ciudad de Trujillo, quién nos entregará una ficha técnica del material, clasificando todos los componentes que este tenga en ciertos porcentajes, para de esa manera saber cómo influirá dentro de la mezcla asfáltica.

Ilustración 14 Preparación de la muestra para ensayo de caracterización



Ensayo de caracterización fisicoquímica del acero en “Laboratorio de Servicios a la Comunidad e Investigación (LASACI)”

*Ilustración 16 Equipo AA
(absorción atómica)*



Ilustración 15 Equipo MG para gases de carbono y metales



Operacionalización de variables

Tabla 9 Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO DE APLICACIÓN
Independiente	Reemplazo de una fracción de AF por limadura de acero	Proporciones de limadura de acero	%	0.00%
				0.75%
				1.50%
				3.00%

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO DE MEDICIÓN
Dependiente	Propiedades de MAC	Propiedades Físicas	Humedad Inducida (Lottman)	%	AASHTO T283
			Desgaste (Cantabro)	%	MTC E515
		Propiedades Mecánicas	Estabilidad	KN	MTC E504
			Flujo	mm	MTC E505
			Tracción Indirecta (IDT)	mm	AASHTO T 283
			Módulo de resiliencia	mm	ASTM D4123-82

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO DE APLICACIÓN
Interviniente	Granulometría de la limadura de acero	mm	MTC E204
	Tráfico Pesado	-	EG-2013
	PEN 60/70	gal	EG-2013

Fuente: Elaboración propia

Técnicas e instrumentos de recolección de Datos

Investigación documental

Para la presente investigación se ha revisado diversos artículos vinculados al tema de investigación propuesto y al campo de ingeniería al que en un futuro me quiero dedicar. Teniendo en cuenta estos puntos se realizó la investigación referente a mezclas asfálticas.

Tabla 10 Técnicas e instrumentos de investigación documental

MÉTODO	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Síntesis de fuente bibliográfica	Análisis de investigación documental	Tesis relacionadas a mi tema de investigación propuesto, es decir, como influye la limadura de acero en un diseño en mezcla asfáltica como agregado fino.

Investigación de campo:

Reconocimiento de la norma: En este punto se hace una revisión de la norma MTC-EG 2013.

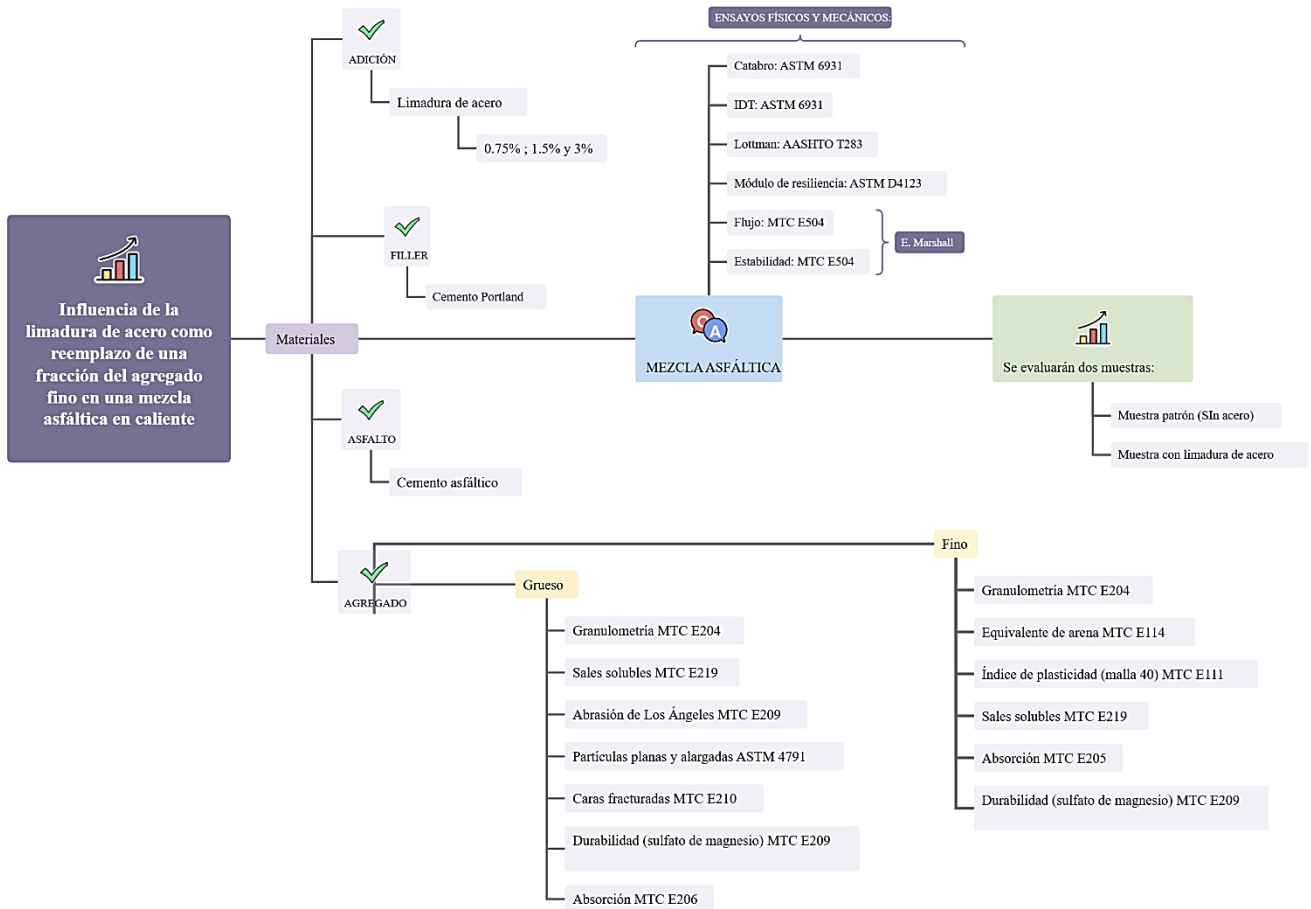
Observación de manera directa: Aquí procedemos a hacer una observación en cómo se realizan los ensayos de laboratorio, todo esto bajo la supervisión de un especialista en el área.

Experimentación: Se efectuará la ejecución de las variables anteriormente propuestas, siguiendo las normas y criterios establecidos, para de esta manera obtener resultados en nuestro beneficio.

Análisis de contenido: Una vez iniciada la realización de los ensayos, se procede a analizar detenidamente los resultados obtenidos, así como las fuentes de información seleccionadas.

Diagrama de flujo

Gráfico 3 Diagrama de flujo



Procedimiento**Ensayos***Tabla 11 Ensayos a realizar*

Ensayos a realizar	Normativa	Requerimiento	Técnica	Instrumento
Requerimientos para los agregados gruesos		< 3.000 msnm		
Análisis granulométrico	MTC. E-107			
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC. E-209	18% máx	Investigación documental	Resultados obtenidos en laboratorio
Abrasión Los Ángeles	MTC. E-207	40% máx		
Adherencia	MTC. E-517	+95		
Índice de durabilidad	MTC. E-214	35% mín.		
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.		
Caras fracturadas	MTC. E-210	85/50	Investigación de campo	
Sales Solubles totales	MTC. E-219	0.5% máx.		
Absorción	MTC. E-206	1.0% máx		
Requerimientos para los agregados finos		< 3.000 msnm		
Análisis granulométrico	MTC. E-107			
Equivalente de arena	MTC. E-114	60		
Angularidad de agregado fino	MTC. E-222	30	Investigación documental	Resultados obtenidos en laboratorio
Azul de metileno	ASHTO TP 57	8 máx		
Índice de plasticidad (malla N° 40)	MTC. E-111	NP		
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC. E-209	-		
Índice de durabilidad	MTC. E-214	35 mín		
Índice de plasticidad (malla N° 200)	MTC. E-111	4 máx	Investigación de campo	
Sales Solubles totales	MTC. E-219	0.5% máx.		
Absorción	MTC. E-205	0.5% máx.		
Caracterización de la limadura de acero				
Ensayo químico (% de los componentes)				

Análisis granulométrico	MTC. E-107		
Método Marshall			
Estabilidad (kg)			
Flujo (kg)		Investigación documental	
Porcentaje de vacíos de los minerales (%)	MTC. E-504		Resultados obtenidos en laboratorio
Porcentaje de vacíos de aire (%)			
Estabilidad /Fluencia Kg/cm		Investigación de campo	
Porcentaje lleno de asfalto (%)			
Propiedades mecánicas de la MAC			
Marshall	MTC. E-504		
Tracción Indirecta		Investigación documental	
Módulo de resiliencia	ASTM D 4123-82		Resultados obtenidos en laboratorio
Propiedades Físicas de la MAC			
Resistencia a la Humedad Inducida	AASHTO T 283	Investigación de campo	
Desgaste- Cántabro	MTC E515		

Ensayos para agregados

Ensayos químicos de la limadura de acero:

Se hizo el envío de una muestra de 500 gramos de limadura de acero al laboratorio ubicada en la ciudad de Trujillo, la cual previamente se recolectó de talleres de torneros y debido a que no todo el residuo extraído era limadura tuvo que usar el material retenido por el tamiz N°80 y N° 200 de acuerdo con la clasificación granulométrica del agregado fino.

Cuarteo:

- Obtenido el material de la cantera, se procede a secar la muestra al aire libre esparciéndolo sobre una superficie plana y horizontal.
- Con el fin de homogenizar mejor el material se mezcla y se pasa a formar un cono, el mismo proceso se repite 4 veces.
- Aplanamos el cono hasta darle una forma circular con espesor uniforme cuyo diámetro será de 4 a 8 veces el espesor.
- Se divide la base circular en 4 partes iguales con ayuda de una regleta.
- Se descarta las dos cuartas partes diagonalmente opuestas y se seleccionan los dos cuartos que quedan, a los que llamaremos “muestra final”

Granulometría:

Tabla 12 Pesaje de la limadura de acero que se retienen en los tamices 10,40,80, 200 y fondo



En base a lo realizado en los tamizados, se determinó que el material que permaneció retenido en la malla N°10 y N°40 no son óptimos para clasificar al acero extraído de torneros como agregado fino, dado que las partículas son grandes y no se consideraría como limadura, sin embargo, el material que queda en la malla N°80 y N°200 tiene aspecto de limadura de acero, por lo que se optó usar esta parte de la granulometría.

Ensayos para agregado fino

Equivalente de Arena

- a. Tomamos una muestra y lo pasamos por el tamiz N°4, luego le colocamos un poco de agua destilada y removemos la mezcla.
- b. En las 3 probetas colocamos agua destilada hasta alcanzar los 4 pulg.
- c. En un medidor cilíndrico metálico colocamos la muestra y se aplicó 25 golpes.
- d. Dados los 25 golpes, se introduciremos la muestra en la primera probeta utilizando un embudo como apoyo.
- e. El mismo proceso se hace con las dos probetas más para luego dejar reposar por 30 minutos.
- f. Pasado los 30 minutos, sellamos con un tapón cada probeta y removemos varias veces la muestra de izquierda a derecha, para luego realizar la irrigación usando la solución Stock mezclada con el agua destilada ubicada en una parte alta que unido a una manguera e irrigador lavarán las paredes de la probeta y los finos, hasta que el líquido llegue a las 15" de graduación.
- g. Se dejan reposar la muestra por 20 minutos para la sedimentación.

- h. Pasados los 20 minutos leemos y registramos la altura a la que se suspendió la arcilla. Para la lectura de la arena bajamos suavemente el pisón a través del fluido hasta tocar la arena, luego restamos 10 pulg. al nivel que alcanzó el líquido en la parte superior de la probeta.

Ilustración 17 Medición de la lectura de arena con un pisón



Límite líquido y plástico:

- CuarTEAMOS agregado fino y tamizamos el material por la malla N°200 y N°40, luego pesamos 200 gramos de cada muestra y colocamos en recipientes distintos, luego agregamos agua destilada gradualmente removiendo con una paleta hasta obtener una masa homogénea.
- Las dos muestras obtenidas las dejamos reposar hasta el día siguiente, es decir, esperamos 24 horas para continuar con el ensayo.
- Pasadas las 24 horas sacamos las muestras, donde para determinar el límite líquido colocamos parte de la muestra de manera uniforme en la copa de Casa Grande, y haciendo uso del ranurador separamos la muestra para proceder con los golpes a 35, 25 y 15 golpes en distintos turnos, tanto para la malla N°200 como para la N°40.

Ilustración 18 Pesaje de muestras antes y después del horno (Malla N°40)



Ilustración 19 Pesaje de muestras antes y después del horno (Malla N° 200)



Azul de metileno

- a. Tamizamos agregado fino por la malla N° 200 y pesamos 5 gramos, los que usaremos para el ensayo.
- b. Con ayuda de una probeta llenamos en un vaso precipitado 250 ml de agua destilada, en la cual colocaremos la muestra de 5 gramos y removemos por unos minutos con un agitador de vidrio.
- c. Luego con ayuda de una jeringa extraemos el azul de metileno a la muestra y vamos colocando gradualmente el líquido en el vaso, removimiento en cada turno con el agitador.
- d. En un papel filtro número 40 vamos colocando una gota de la muestra al adicionarle azul de metileno a medida que va aumentando la incorporación, hasta lograr un color azul cielo.
- e. Para obtener el resultado del ensayo dividimos la cantidad en ml de azul de metileno que adicionamos y lo dividimos entre los 5 gramos de muestra que teníamos al inicio.

Ilustración 20 Verificación del color azul cielo conforme aumentaban la colocación de las gotas del azul metileno



Ensayo de absorción:

- Llenamos con agua destilada la fiola con la muestra dentro hasta llegar a los 500 cm³ y agitamos el frasco de manera manual hasta perder todas las burbujas que se generan en el interior.
- Luego de haber eliminado las burbujas de aire, se registra el peso de la fiola, del espécimen y el agua.
- Verter el agregado fino del frasco en una tara y colocarlo en la estufa, secándolo a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta que su peso se estabilice.
- Se llevará la muestra a condición ambiente entre $\frac{1}{2}$ a 1 hora determinando el peso.

Ilustración 21 Extracción manual de las burbujas en el interior de la fiola

***Sales solubles totales***

- Para el presente ensayo se utilizó 50 gr de muestra pasante por el tamiz N°10.
- Posteriormente colocamos en un frasco de cristal 500 ml de agua destilada junto con la muestra.
- Agitamos lo anteriormente incorporado durante una hora hasta homogeneizar la mezcla.
- Después de haber agitado, dejamos reposar la muestra por una hora para posteriormente colocarlo en la estufa hasta que se generen burbujas.
- Antes de colocar la muestra por papel filtro con ayuda de un embudo hacia la probeta pesamos el crisol que es en donde se dejará dicha muestra.

- f. Luego del filtrado se colocará la muestra en el crisol, para luego llevarlo al horno sometido a una temperatura de 100 ± 5 °C.
- g. Finalmente, se pesa la muestra después del secado al horno.

Ilustración 22 Ensayo sales solubles totales



Ensayo de durabilidad (Sulfato de Magnesio)

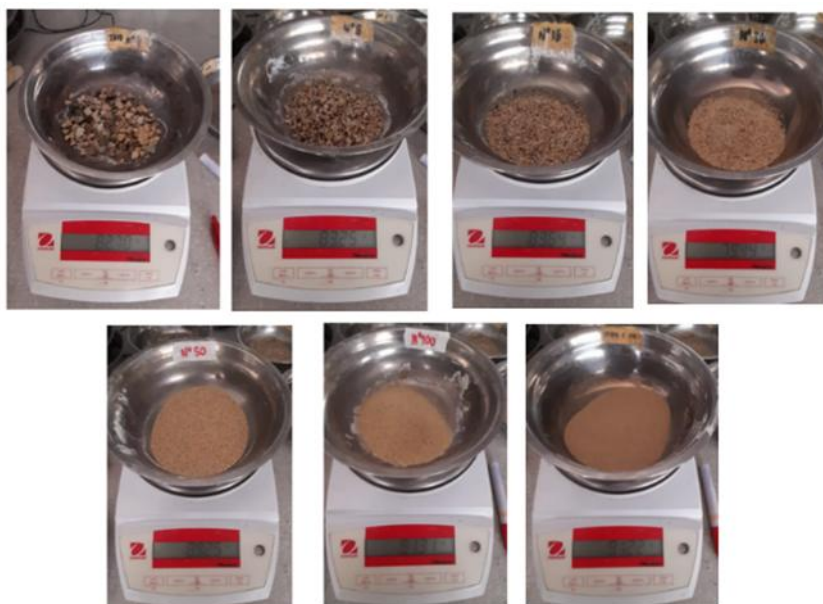
- a. Se utiliza la serie de tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100.
- b. Preparamos el material haciendo un cuarteo de los agregados para que posteriormente pasen por los tamices.
- c. Se procede a hacer el lavado del agregado fino y se le lleva al horno para el secado.
- d. Luego de sacarlo del horno se procede al pesaje de 2 kilos de agregado fino.
- e. En otro ambiente, se disuelve en un balde el agua destilada con sulfato de Magnesio, tener como seguridad guantes en las manos.

- f. Se realizará el pesaje de la solución hasta alcanzar un peso específico entre 1,295 y 1,308.
- g. Una vez obtenida la solución líquida, se colocará 100 gramos de cada agregado retenido en los tamices y se colocará en las respectivas taras que estarán enumeradas por tamiz.
- h. Colocamos las muestras con sulfato en el horno por una duración de 24 horas, pasado este tiempo se sacarán las muestras y se coloca nuevamente la solución hasta que el líquido cubra la muestra.
- i. Estos mismos pasos se repetirán por 5 veces siguiendo lo que estipula la norma, y finalmente al llegar al quinto ciclo, se pesan todas las muestras con el fin de evaluar la durabilidad de los agregados ensayados.

Ilustración 23 Preparación de la mezcla de Sulfato de Magnesio



Ilustración 24 Pesaje de las muestras después del lavado de secado



Ensayos para agregado grueso

Abrasión – Máquina de los Ángeles

- a. En primer lugar, se deberá tamizar el agregado por las mallas de ½” y 3/8”
- b. Posteriormente se hace el lavado y secado en horno del agregado para después tomar una muestra, es decir pesar 5000 gr. del material.
- c. Habilitamos la Máquina de los Ángeles, para someter la muestra de agregado a un rango de 200 a 500 revoluciones.
- d. Terminada la abrasión se retiran las esferas que se utilizaron para el ensayo y pasamos a pesar el material.

Ilustración 27 Colocación del agregado en la Máquina



Ilustración 26 Pesaje a las 200 revoluciones



Ilustración 25 Pesaje a las 500 revoluciones



Partículas chatas y alargadas

- a. Para el presente ensayo se realiza en primer lugar el cuarteo y tamizado del agregado grueso por las mallas de ½” y 3/8”
- b. Se procede a hacer la medición del agregado para determinar si son chatas o alargadas.
- c. Se van a separar en los siguientes subgrupos: chatas y alargadas de 1/2”, 1/4” y 3/8”.

Ilustración 28 Peso de las partículas chatas y alargadas de 1/2", 1/4" y 3/8"



Sales Solubles Totales

- Como primer paso se realiza un cuarteo de los agregados gruesos y se tomará de este cuarteo una muestra de 500gr retenida en la malla 1/2".
- Posteriormente se colocará agua destilada en la muestra hasta cubrir el agregado, lo dejamos en reposo por 24 horas.
- Después de las 24 horas se lleva la muestra a la estufa hasta que logre soltar burbujas. Para posteriormente pasarlo a través de un embudo y papel filtro hacia una probeta.
- Colocamos la muestra del agregado grueso en un crisol para llevarlo luego al horno donde se secará por 24 horas.
- Una vez sacado del horno la muestra se hace un pesaje de la muestra seca dentro del crisol.

Ilustración 29 Ensayo de sales solubles totales para agregado grueso



Absorción

- a. Se realiza un cuarteo y se tamiza el agregado para posteriormente pesarlo según lo que indica la Tabla N°1 del ensayo MTC E-206.
- b. Luego del pesaje se realiza el lavado del material y el secado parcial de este mismo.
- c. Se pesa a la muestra superficialmente seca, al igual que la canastilla donde se colocará la muestra sumergida en agua.
- d. Se realiza el pesaje del agregado sumergido en el agua y se toma los respectivos valores para sacar cuanta absorción tiene el agregado.

Ilustración 30 Ensayo de absorción para agregado grueso



Ensayo de Durabilidad (Agregado Grueso)

- a. Esta prueba se realiza simultáneamente con el agregado fino, para este material se tamiza por las mallas 1/2", 3/8" y N°4 y posteriormente se realiza el lavado respectivo.
- b. Así como con el agregado fino también se coloca las muestras del agregado grueso en sus respectivas taras con la solución de sal para luego llevarlas al horno por un periodo de 24 horas.
- c. Se realiza una consecutiva colocación y retiro del sulfato de las muestras hasta alcanzar un peso constante.
- d. Cuando se obtiene un peso constante, las muestras se trasladan a la balanza para registrar su masa y evaluar la durabilidad del agregado.

Ilustración 31 Ensayo de durabilidad para agregado grueso



Ilustración 32 Pesaje antes y después del ensayo de durabilidad



Granulometría de agregados

La metodología usada para determinar los porcentajes efectivos de agregado fino y grueso se hace en base a una combinación teórica de la incursión de estos en la mezcla de estos materiales.

Ilustración 33 Gradación del agregado grueso extraído de la cantera Tres Tomas

TAMIZ	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
ASTM	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa
1"	25.400	-	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	-	100.0
3/8"	9.525	-	-	-	100.0
1/4"	6.350	-	-	-	100.0
N° 4	4.760	500.0	20.00	20.0	80.0
N° 6	3.360	-	-	-	-
N° 8	2.380	-	-	-	-
N° 10	2.000	198.4	7.93	27.9	72.1
N°16	1.190	-	-	-	-
N° 20	0.840	-	-	27.9	72.1
N° 30	0.590	-	-	-	-
N° 40	0.426	1,365.8	54.6	82.6	17.4
N° 50	0.297	-	-	-	-
N° 80	0.177	246.8	9.9	92.4	7.6
N° 100	0.149	-	-	-	-
N° 200	0.074	15.2	0.6	93.0	7.0
-200	-	173.8	7.0	100.0	-

En el ensayo granulométrico se tuvo una masa de 1680 gr. de agregado grueso de los cuales el 96.5% se retuvo en las mallas 1/2" y 3/8" y el 3.5% restante pasó al agregado fino.

Ilustración 34 Curva Granulométrica del agregado grueso

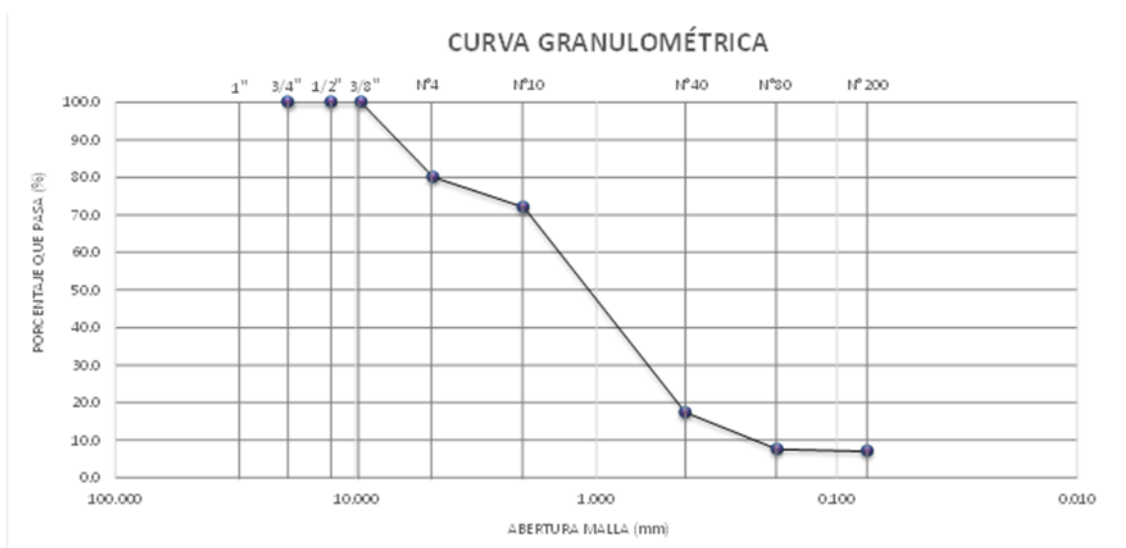
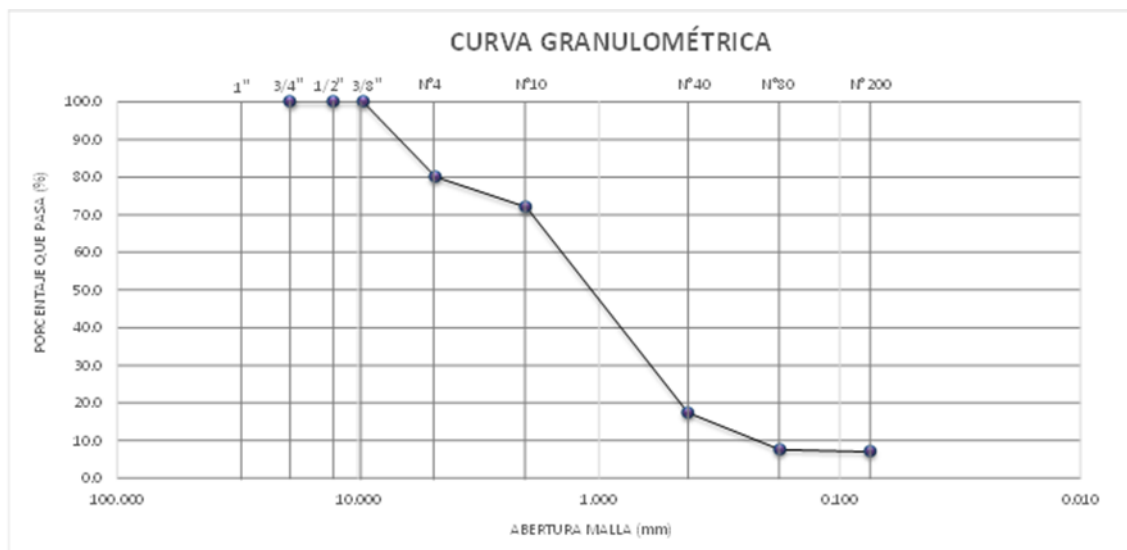


Ilustración 35 Gradación del agregado fino extraído de la cantera Pátapo

TAMIZ	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
ASTM	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa
1"	25.400	-	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	-	100.0
3/8"	9.525	-	-	-	100.0
1/4"	6.350	-	-	-	100.0
N° 4	4.760	500.0	20.00	20.0	80.0
N° 6	3.360	-	-	-	-
N° 8	2.380	-	-	-	-
N° 10	2.000	198.4	7.93	27.9	72.1
N° 16	1.190	-	-	-	-
N° 20	0.840	-	-	27.9	72.1
N° 30	0.590	-	-	-	-
N° 40	0.426	1,365.8	54.6	82.6	17.4
N° 50	0.297	-	-	-	-
N° 80	0.177	246.8	9.9	92.4	7.6
N° 100	0.149	-	-	-	-
N° 200	0.074	15.2	0.6	93.0	7.0
-200	-	173.8	7.0	100.0	-

En esta granulometría se pesó una masa de 2280 gr. de agregado fino de los cuales el en agregado grueso no se retuvo nada y en el agregado fino se obtuvo un 94.13%, quedando en la malla N°200 un 5.87%.

Ilustración 36 Curva granulométrica del agregado fino



Para ello, en base a las granulometrías hecha de cada agregado por separado, se determinó su porcentaje efectivo.

Plan de Procesamiento

Este proyecto de investigación propuesto se llevará a cabo en las siguientes etapas:

Etapa I: Obtención de información

- Determinar el campo en el que a futuro me quiero especializar y a partir de esto elegir mi tema de investigación.
- Analizar una situación problemática dentro del campo elegido, al igual que los medios para lograrlo y si el proyecto es viable o no.
- Se realizará una revisión literaria ya sea en artículos de investigación a nivel nacional e internacional, así mismo se dará revisión a trabajos académicos en universidades o empresas ligadas al rubro de investigación.
- Se hará una revisión de las Normas peruanas con relación al tema elegido con el fin de cumplir con los parámetros de la investigación.

Etapa II: Recolección de materiales

- Se hará la recolección de los materiales empleados para la mezcla asfálticas como el agregado grueso, las limaduras de acero y el filler.
- Para la obtención de limadura de acero acudimos a los torneros o talleres mecánicos, lugares que debido a su trabajo genera grandes cantidades de este residuo como recurso, también se puede obtener en tiendas en línea cuyo precio es accesible.
- En cuanto a obtener los agregados, estos se extraerán de la cantera “Centro” ubicada en la ciudad de Pátapo.

Etapa III: Elaboración de ensayos para determinar las características de los agregados:

Limadura de acero:

Para la obtención de la limadura de acero acudimos a talleres mecánicos y de soldadura también llamados torneros, donde por lo general desechan este recurso teniendo una mala disposición final, con el objetivo de reaprovechar aquellos recursos que son considerados como desechos.

Una vez recolectada la limadura de acero, procedemos a pasarlo por los tamices de agregado fino, para tomar una muestra de la limadura que se retiene en el tamiz N° 80 y N°200, ya que estas se consideran como limadura, posteriormente lavamos las muestras para

luego hacer un secado parcial y colocar en una tara y llevarlo a una temperatura entre 30 C°a 90 C° para eliminar los aceites característicos del acero.

Una vez hecho este proceso recolectamos 1 kilo de la muestra y enviamos al laboratorio “Laboratorio de Servicios a la Comunidad e Investigación (LASACI)” que queda en la ciudad de Trujillo, quién nos entregará una ficha técnica del material, clasificando todos los componentes que este tenga en ciertos porcentajes para esa manera saber cómo influirá dentro de la mezcla asfáltica.

Etapas IV: Elaboración de las briquetas:

- Se tendrá una muestra patrón o convencional con la cual en la evaluación de los resultados se comparará respecto a las briquetas modificadas con, 0.75%,1.5% y 3% de limadura de acero.

Etapas V: Ejecución del ensayo Marshall:

Queriendo definir las propiedades físico-mecánicas de la MAC se llevará a cabo la metodología Marshall siguiendo los parámetros establecidos en la MTC-2013.

Propiedades físicas de la mezcla asfáltica:

Los ensayos considerados en este proyecto con el propósito de establecer las características físicas de la mezcla asfáltica son el ensayo de vacío de aire, vacío del agregado mineral y el ensayo de peso unitario.

Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica:

Los ensayos considerados en el presente proyecto con el objetivo de determinar las características mecánicas de la mezcla asfáltica es la prueba de estabilidad, flujo y el índice de rigidez.

Etapas VI: Elaboración del informe final

- Analizar y comparar de los resultados obtenidos con respecto a las propiedades físicas y mecánicas que se originan con el reemplazo del agregado fino por limadura de acero.
- Redactar tanto las conclusiones como las recomendaciones.
- Archivar los anexos.

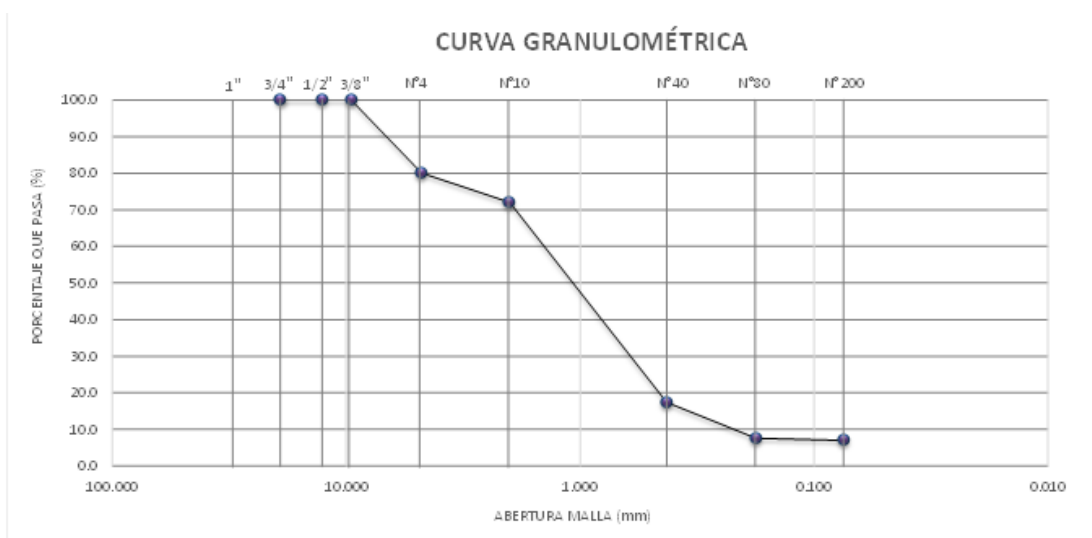
Resultados y discusión

Resultados

Granulometría de agregado grueso

Se pesa un valor superior a lo indicado en la MTC E 107 para realizar la gradación del agregado grueso. En los pesos retenidos se observa que el agregado con el que se harán las briquetas es con el retenido a partir de la malla 1/2" ya que en la malla 3/4" no se retiene el material.

Ilustración 37 Curva granulométrica del agregado grueso

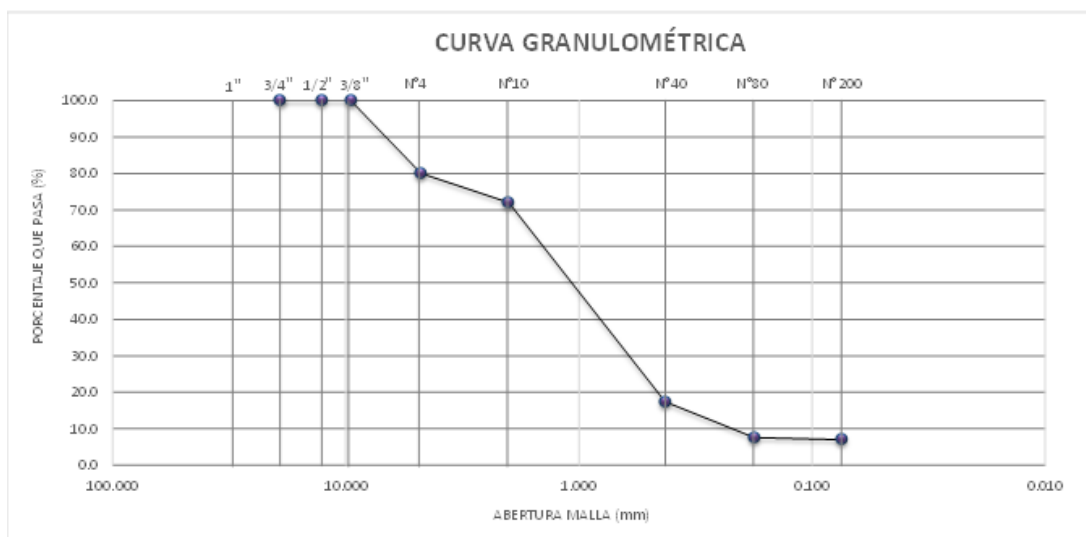


En la gráfica de granulometría se observa una adecuada gradación de agregado grueso, en donde el peso inicial fue de 1680gr. y la malla que retuvo mayor agregado fue la de 1/2" con el 36.9 % de material retenido.

Granulometría de agregado fino

Se pesa un valor superior a lo indicado en la MTC E 107 para realizar la gradación del agregado fino en donde el mínimo es 115 gramos y en el presente ensayo se cumplió con dicha condición, ya que se utilizó una muestra inicial de 2280 gr.

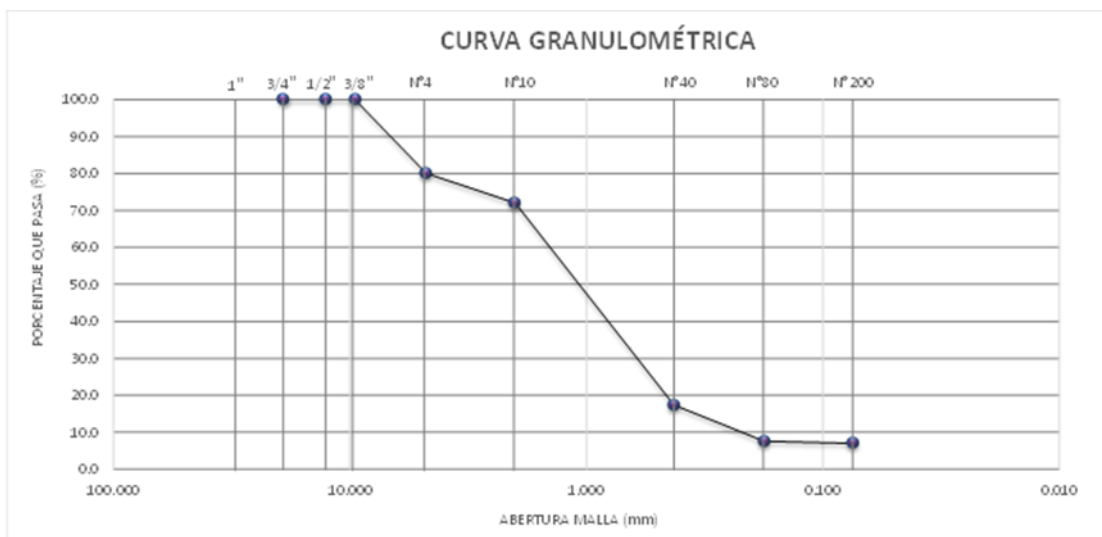
Ilustración 38 Curva granulométrica del agregado fino



De la anterior gráfica se observa la granulometría del agregado fino de donde se obtuvo una adecuada gradación, el mayor porcentaje de agregado fino se retuvo en la malla N°40 con un porcentaje de 65.6%.

Granulometría de acero

Ilustración 39 Curva granulométrica del acero



En base a la granulometría hecha para cada agregado, incluyendo el acero, se determinó los porcentajes óptimos para las gradaciones dentro de las MAC (MTC E 212), se ensayó 2500 gramos de residuos de acero de los cuales el 20% se quedó retenido como agregado grueso, el otro 80% representa el agregado fino de la gráfica anterior se puede observar que al realizar la granulometría de residuo de acero el mayor porcentaje de este se retiene en la malla N°40 sin

embargo, debido a su tamaño y aspecto no será considerada como limadura, solo se usará el material retenido en la malla N°80 y N°200 en donde se retuvo 9.9% y 0.6% de residuo de acero respectivamente, ya que estos si tienen el aspecto de limadura de acero, estos porcentajes de material son lo que usaremos para la elaboración de las muestras, el pasante por la malla N°200 se descarta ya que es considerado como filler [49].

Granulometría combinada de los agregados (grueso y fino)

Tabla 13 Porcentajes de los agregados al combinarse para lograr una gradación óptima

Grava Chancada 1/2"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Filler	1%
TOTAL	100%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Tabla 14 Porcentaje pasante al combinar los porcentajes de agregados propuestos

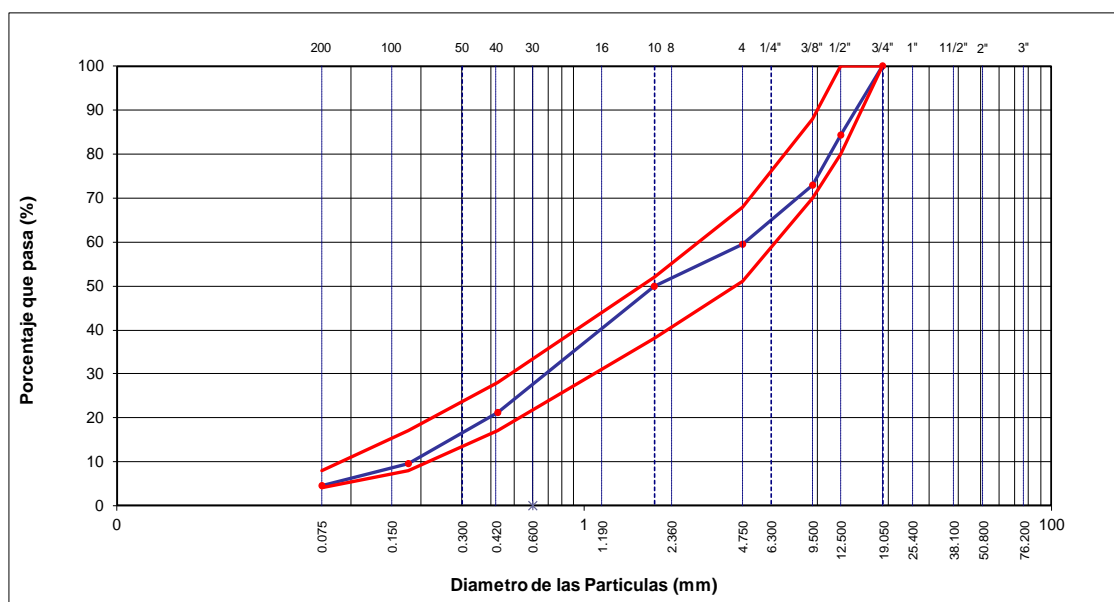
TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACION	
3"	76.20					MAC - 2	
3/4"	19.00	0.00			100	100	
1/2"	12.50	620.70	15.52	15.52	84.48	80	100
3/8"	9.50	460.60	11.52	27.03	72.97	70	88
Nº 4	4.75	540.70	13.52	40.55	59.45	51	68
Nº 10	2.00	370.20	9.49	50.04	49.96	38	52
Nº 40	0.43	1126.20	28.86	78.90	21.10	17	28
Nº 80	0.18	450.20	11.54	90.43	9.57	8	17
Nº 200	0.08	199.60	5.11	95.55	4.45	4	8
< Nº 200	FONDO	174.80	4.48	100.03			

Los porcentajes adecuados de los agregados obtenidos en la cantera son de 42% y 57% para el agregado grueso y fino respectivamente.

Tabla 15 Pesos retenidos de la malla 1/2" hasta el fondo

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO
3"	76.20	
3/4"	19.00	0.00
1/2"	12.50	620.70
3/8"	9.50	460.60
Nº 4	4.75	540.70
Nº 10	2.00	370.20
Nº 40	0.43	1126.20
Nº 80	0.18	450.20
Nº 200	0.08	199.60
< Nº 200	FONDO	174.80

Tabla 16 Curva granulométrica de la combinación de agregados dentro de la MAC-2



Llevando a laboratorio la cantidad de porcentaje determinado de cada material (grosso y fino) se consigue una gradación óptima, la que, para llevar a cabo investigación planteada, se ubica dentro la clasificación MAC-2.

Caracterización de agregados:

Caracterización fisicoquímicas de la limadura de acero

Tabla 17 Composición química de la limadura de acero

Composición química (%) de la limadura de acero	
Carbono	0.28
Manganeso	1.62
Fósforo	0.04
Silicio	0.55
Azufre	0.05
Hierro	97.21

El componente que existe en mayor cantidad en la limadura de acero es el hierro con un porcentaje de 97.21%; esto guarda relación con la composición general de un acero, en el cual abunda más el hierro frente a otros metales como el carbono.

Tabla 18 Características físicas de la limadura de acero

Características físicas de la limadura de acero	
Color	Gris oscuro
Aspecto	Polvo
Densidad (kg/L) a 20°C	7.868
Temperatura de Ebullición	2873 °C
Punto de fusión	1534 °C
Presión de vapor	1 mmHg a 1787 °C
Solubilidad	Insoluble en agua

Las características físicas de la limadura de acero son: su color es gris oscuro, su aspecto es polvoriento, posee una densidad de 7.86 kg/L, una temperatura de ebullición de 2873°C este último es importante, ya que sabemos a qué temperatura logrará el acero unirse a los demás componentes de la mezcla asfáltica al momento de realizar las briquetas.

Caracterización de los agregados

Ensayo de azul de metileno

Tabla 19 Cantidad de % de arcillas y partículas nocivas

MUESTRA	Azul de Metileno	Cantidad de Solución ml	Peso del Material	Resultado	Especificación EG -213	
	Cada	NÚMERO			Mín.	Máx.
AGREGADO FINO - pasa 200	Cada 0.5 ml	8.0	5.0	1.6	-	8
		8.0	5.0	1.6		

RESULTADOS PROMEDIOS :	1.6
-------------------------------	-----

En este ensayo se logró obtener un porcentaje de 1.60 % de presencia de arcillas en la muestra de agregado fino, este resultado cumple lo establecido en la norma, la cual indica que el material debe tener como máximo 8% contenido de arcilla y partículas nocivas.

Equivalente de arena

Tabla 20 Porcentaje de equivalente de arena en el agregado fino

MUESTRAN°	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	N° 4	N° 4	N° 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	5.40	5.10	5.00
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	3.30	3.50	3.20
EQUIVALENTE DE ARENA	61.11 %	68.63 %	64.00 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	65 %		

Este ensayo permite estimar el porcentaje de finos presentes en un material poco plástico, en donde para la muestra utilizada se obtuvo como resultado 65% (EA), cumpliendo lo establecido según la MTC. E-114, debido a que el dato obtenido es mayor al 60% que se establece como mínimo, es importante destacar que, a mayor equivalente de arena, mejor será la calidad del agregado.

Ensayo de absorción de agregados finos

Tabla 21 Porcentaje de absorción para A.F.

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.70
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.72
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.75
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.38

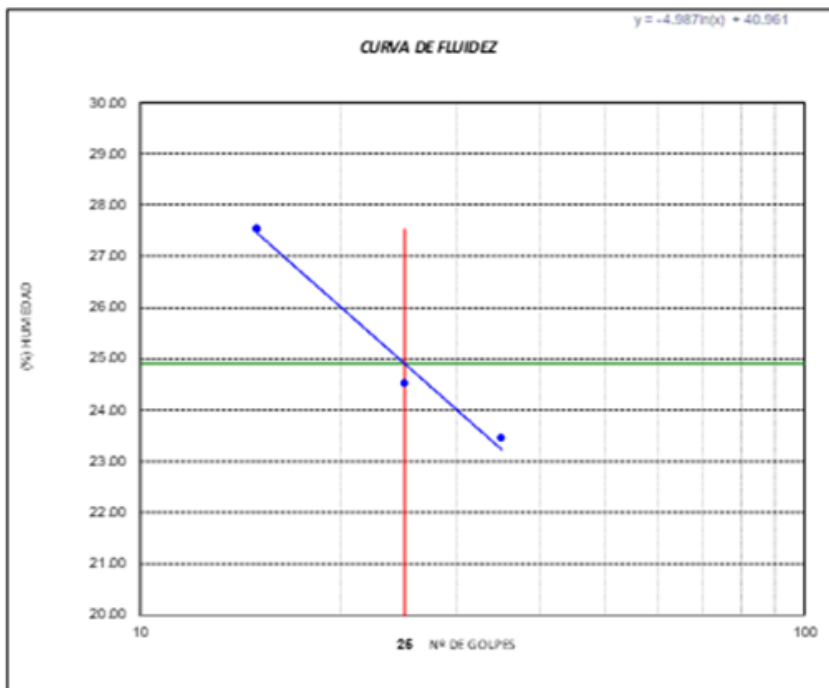
El porcentaje de absorción obtenida para una muestra de 500 gr. de agregado fino extraída de la cantera Tres Tomas es de 0.38%, siendo este resultado óptimo para ser considerado dentro de una mezcla asfáltica, ya que cumple con lo especificado en la MTC. E-205, en donde indica un parámetro máximo de 0.5%. Se afirma que a mayor equivalente de arena (SE), mejor será la calidad del material.

Ensayo de Límites Malla N°200

Tabla 22 Límites del agregado retenido en la malla N°200

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	24.71
Límite Plástico	21.96
Índice de Plasticidad	2.75

Tabla 23 Curva de fluidez del agregado retenido en la malla N°200



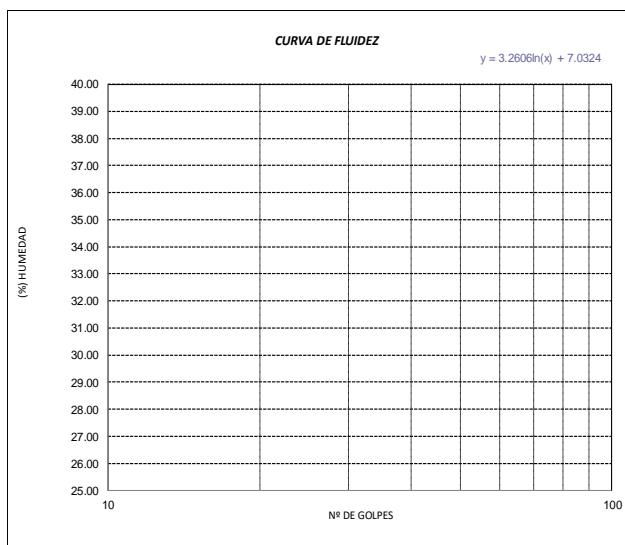
El material ensayado cumple con lo establecido en la MTC.E-111, debido a que el índice de plasticidad para una muestra retenida en la malla N°200 es de 2.75 siendo este valor menor a 4 que es el parámetro máximo.

Ensayo de Límites Malla N°40

Tabla 24 Límites del agregado retenido en la malla N°40

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	17.52
Límite Plástico	17.52
Índice de Plasticidad	0.00

Tabla 25 Curva de fluidez del agregado retenido en la malla N°40



El valor obtenido en el presente ensayo se acerca al valor solicitado en la MTC.E-111, ya que esta norma propone que el material debe ser no plástico (NP), por lo tanto, el valor que se obtuvo es correcto ya que la muestra presentó un índice de plasticidad muy bajo cercano al 0 considerándolo por ende como NP.

Ensayo de durabilidad de agregados finos

Tabla 26 Porcentaje de pérdida en los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
3/8"	N° 4	2.1
9.5 mm	4.75 mm	
N° 4	N° 8	3.8
4.75 mm	2.36 mm	
N° 8	N° 16	3.1
2.36 mm	1.18 mm	
N° 16	N° 30	2.8
1.18 mm	600 µm	
N° 30	N° 50	1.4
600 µm	300 µm	
N° 50	N° 100	1.2
300 µm	150 µm	

Tabla 27 Desgaste total de toda la muestra fina

DESGASTE TOTAL	(%)	15.3
----------------	-----	-------------

En este ensayo se obtuvo un 15.3% de durabilidad o resistencia al desgaste del agregado fino a la solución de sulfato de magnesio con la que se ensayó, este resultado cumple con lo establecido en la MTC. E-209 cuyo parámetro indica un valor máximo de 18%.

Ensayo de absorción de agregados gruesos

Tabla 28 Porcentaje de absorción para A.G.

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	1.36
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	1.37
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	1.38
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.65

El porcentaje de absorción obtenida para una muestra de 2934 gr. de agregado grueso extraída de la cantera Tres Tomas es de 0.65%, siendo este resultado óptimo para ser considerado dentro de una mezcla asfáltica, ya que cumple con lo establecido en la MTC. E-206, en donde indica un parámetro máximo de 1%.

Ensayo de sales solubles

Tabla 29 % de sales solubles totales en agregado fino

Constituyentes de sales solubles totales	ppm	2200
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.22

Tabla 30 % de sales solubles totales en agregado grueso

Constituyentes de sales solubles totales	ppm	3900
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.39

El resultado de 0.22% de agregado resulta adecuado según la norma MTC.E-219, debido a que este dato es menor a 0.5% máximo. Por otro lado, el agregado grueso también cumple lo establecido en la normativa, ya que se obtuvo 0.39%, porcentaje menor a 0.5% máximo de las sales solubles totales a ensayar.

Ensayo de durabilidad de agregados gruesos

Tabla 31 Porcentaje de pérdida en los tamices 1/2", 3/8" y N°4

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
2" 50 mm	1 1/2" 37.5 mm	0.0
1 1/2" 37.5 mm	3/4" 19 mm	
3/4" 19 mm	1/2" 12.5 mm	12.4
1/2" 12.5 mm	3/8" 9.5 mm	2.1
3/8" 9.5 mm	N° 4 4.75 mm	0.0

Tabla 32 Desgaste total de toda la muestra gruesa

DESGASTE TOTAL	(%)	14.5
----------------	-----	-------------

En el presente ensayo se obtuvo un 14.5% de durabilidad o resistencia al desgaste del agregado grueso a la solución de sulfato de magnesio con la que se ensayó, este resultado cumple con lo establecido en la MTC. E-209 cuyo parámetro indica un valor máximo de 18%. Mientras mayor sea la resistencia del agregado será de mejor calidad ya que así no produce finos de arcilla dañinos sometidos a los métodos mecánicos establecidos de degradación.

Ensayo de caras fracturadas

Tabla 33 Partículas con una cara fracturada

Tamaño de agregado		A	B	C	D	E
PASA	RETIENE	peso retenido	Peso de caras fracturadas g	$c=(B/A)*100$	$(\%)(\text{peso } A/\text{st}) * 100$	$(C*D)/100$
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	670.66	364.34	54.33	69.06	37.52
1/2"	3/8"	300.40	172.32	57.36	30.94	17.75
TOTAL		971.06	536.66	111.69	100.00	55.27

Tabla 34 Partículas con dos caras fracturadas

Tamaño de agregado		A	B	C	D	E
PASA	RETIEN E	peso retenido	Peso de caras fracturadas g	$c=(B/A)*100$	(%)(peso A/st)*100)	(C*D)/100
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	670.66	304.52	45.41	69.06	31.36
1/2"	3/8"	300.40	120.31	40.05	30.94	12.39
TOTAL		971.06	424.83	85.46	100.00	43.75

RESULTADOS	
CON UNA CARA FRACTURADA	85.24%
CON 2 O MÁS CARAS FRACTURADAS	82.05%

La relación obtenida en el presente ensayo es de 85.24% para partículas de una cara fracturada y de 82.05% de partículas con dos caras fracturas, estos resultados si cumplen con lo establecido en la MTC.E-210, en donde se tiene como parámetro a cumplir una relación de 85/50 y mis datos son semejantes. Cabe resaltar que las partículas mientras más irregulares son resisten más al desplazamiento en el pavimento, debido a que se entrelazan al ser compactadas.

Ensayo de abrasión

Tabla 35 Porcentaje de abrasión del agregado grueso

% de desgaste por abrasión	%	23.2
% de uniformidad	%	0.8

En este ensayo se produjo un desgaste de la muestra de 23.2% al someterlo en la máquina de los Ángeles, cumpliendo así con lo establecido en la MTC.E-207, en donde el parámetro máximo es de 40%. El material será mejor mientras mayor sea su capacidad que no romperse o desgastarse bajo el efecto del tráfico.

Ensayo de partículas chatas y alargadas

Tabla 36 ensayo partículas chatas y alargadas

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			CHATAS		ALARGADAS	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO	(%)	PESO	(%)
(pulg)	(mm)							
3/4"	19.00			100.00				
1/2"	12.50	1000.0	41.67	58.33	27.79	1.16	45.82	1.91
3/8"	9.50	800.0	33.33	25.00	48.37	2.02	48.3	2.01
1/4"	6.30	600.0	25.00	-	6.2	0.26	45.46	1.89
				TOTAL	82.36	3.43	139.6	5.82

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	(g)	2400.0
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	(%)	9.2

En el presente ensayo el porcentaje de contenido de partículas chatas y alargadas en la muestra de 2400 gr. es de 9.2%, resultado que cumple con el parámetro máximo establecido en la ASTM 4791, en donde establece que el material tenga un porcentaje menor a 10%. Mientras menor se el porcentaje de partículas chatas o planas el material será mejor, ya que al usar estas partículas en una MAC son susceptibles al fallo cuando se aplique una presión mínima, esto debido a su forma aplanada mientras que las formas irregulares proporcionan una mejor adherencia con el cemento asfáltico proporcionando una mejor resistencia a la mezcla.

Diseño de mezcla asfáltica:

Mezcla convencional:

Para el diseño de mezcla convencional con los diferentes porcentajes de C.A% propuesto los cuales varían a 0.5, se tomará la granulometría realizada para agregados, del cual es sabido que el agregado grueso tiene un porcentaje de 40.55%, el restante representa al agregado fino, cabe resaltar que dentro del diseño de mezcla se ha considerado el 1% de filler. A continuación, se detallan los pesos con sus respectivos porcentajes dentro de la mezcla, el peso de cada espécimen será de 1200 gr.

Tabla 37 Diseño para mezcla convencional a 4.5; 5:5.5 y 6% de C.A.

MAC- Convencional				
%C.A	4.5	5	5.5	6
Insumos				
Agregado grueso	464.70	462.27	459.84	457.40
Agregado fino	669.84	666.33	662.823	659.32
Filler 1%	11.46	11.40	11.34	11.28
Asfalto	54.00	60.00	66.00	72.00
TOTAL	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Mezcla modificada

Para el diseño de mezcla convencional a 4.5, 5, 5.5 y 6% de cemento asfáltico más la sustitución de la limadura de acero en porcentajes de 0.75%; 1.5% y 3%, para el cual también se hizo uso de la granulometría combinada donde el agregado grueso representa 40.55% y el resto agregado fino, también se diseñará teniendo en cuenta el 1% de filler.

Tabla 38 Pesos de materiales para MAC a 0.75% de sustitución de acero

MAC-0.75% Ac.				
%C.A	4.5	5	5.5	6
Insumos				
Agregado grueso	464.70	462.27	459.84	457.40
Agregado fino	660.84	657.33	653.823	650.32
Filler 1%	11.46	11.40	11.34	11.28
Acero 0.75%	9.00	9.00	9.00	9.00
Asfalto	54.00	60.00	66	72.00
TOTAL	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Tabla 39 Pesos de materiales para MAC a 1.5% de sustitución de acero

MAC - 1.5% Ac.				
%C.A	4.5	5	5.5	6
Insumos				
Agregado grueso	464.70	462.27	459.84	457.40
Agregado fino	651.84	648.33	644.823	641.32
Filler 1%	11.46	11.40	11.34	11.28
Acero 1.5%	18.00	18.00	18.00	18.00
Asfalto	54.00	60.00	66	72.00
TOTAL	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Tabla 40 Pesos de materiales para MAC a 3.0 % de sustitución de acero

MAC - 3.0% Ac.				
%C.A	4.5	5	5.5	6
Insumos				
Agregado grueso	464.70	462.27	459.84	457.40
Agregado fino	633.84	630.33	626.82	623.32
Filler 1%	11.46	11.40	11.34	11.28
Acero 3.0%	36.00	36.00	36.00	36.00
Asfalto	54.00	60.00	66.00	72.00
TOTAL	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

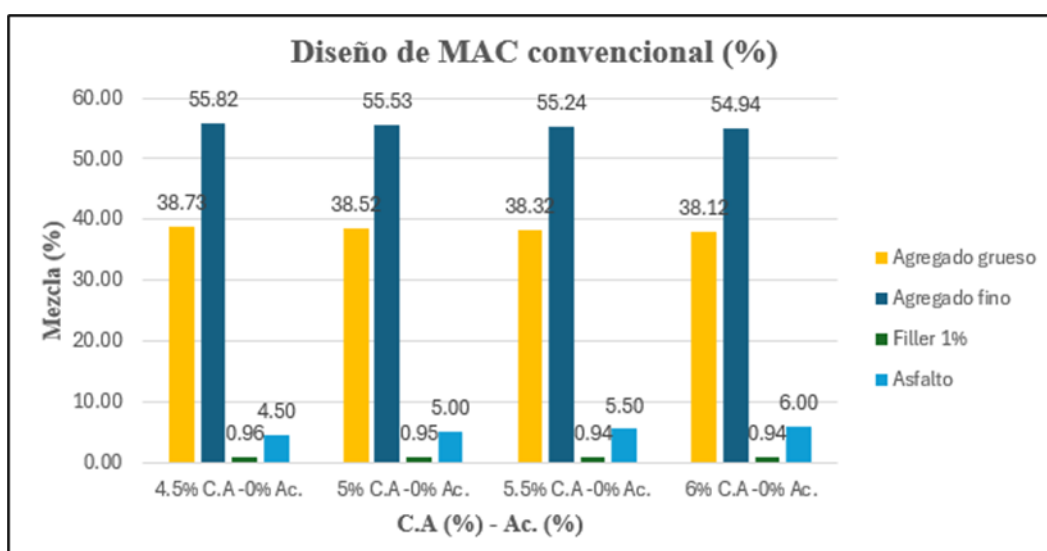
Proporción (%) de materiales para diseño de MAC convencional y modificada

➤ **MAC convencional**

Tabla 41 Porcentaje de diseño de mezcla para MAC convencional + 0.0% Ac.

MAC- Convencional (%)				
%C.A	4.5	5	5.5	6
Insumos				
Agregado grueso	38.73	38.52	38.32	38.12
Agregado fino	55.82	55.53	55.24	54.94
Filler 1%	0.96	0.95	0.94	0.94
Asfalto	4.50	5.00	5.50	6.00
TOTAL (%)	100.00	100.00	100.00	100.00

Gráfico 4 Proporción de diseño de MAC convencional



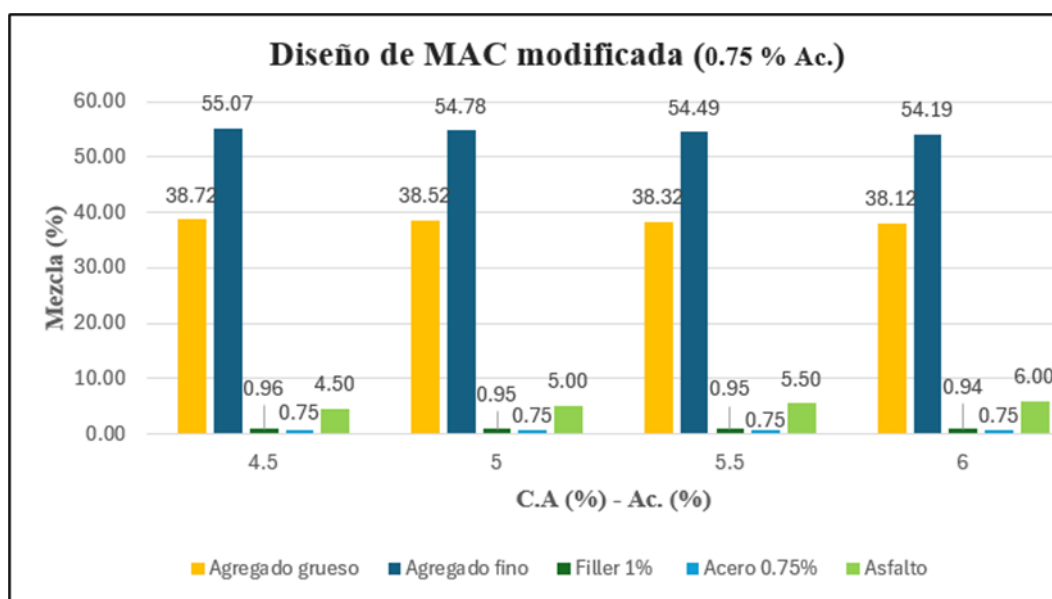
En gráfico muestra los porcentajes de diseño para MAC modificada, los cuales resultan ser variables debido a los diferentes porcentajes propuestos de cemento asfáltico (PEN 60/70). En esta mezcla convencional los materiales en su totalidad representan el 100% de una mezcla de 1200gr.

➤ **MAC modificada al 0.75% de limadura de acero**

Tabla 42 Porcentaje de diseño de mezcla para MAC modificada + 0.75% AC

MAC Modificada - 0.75% Ac.				
%C.A	4.5	5	5.5	6
Insumos				
Agregado grueso	38.72	38.52	38.32	38.12
Agregado fino	55.07	54.78	54.49	54.19
Filler 1%	0.96	0.95	0.95	0.94
Acero 0.75%	0.75	0.75	0.75	0.75
Asfalto	4.50	5.00	5.50	6.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00

Gráfico 5 Proporción de diseño de MAC modificada (0.75%Ac.)



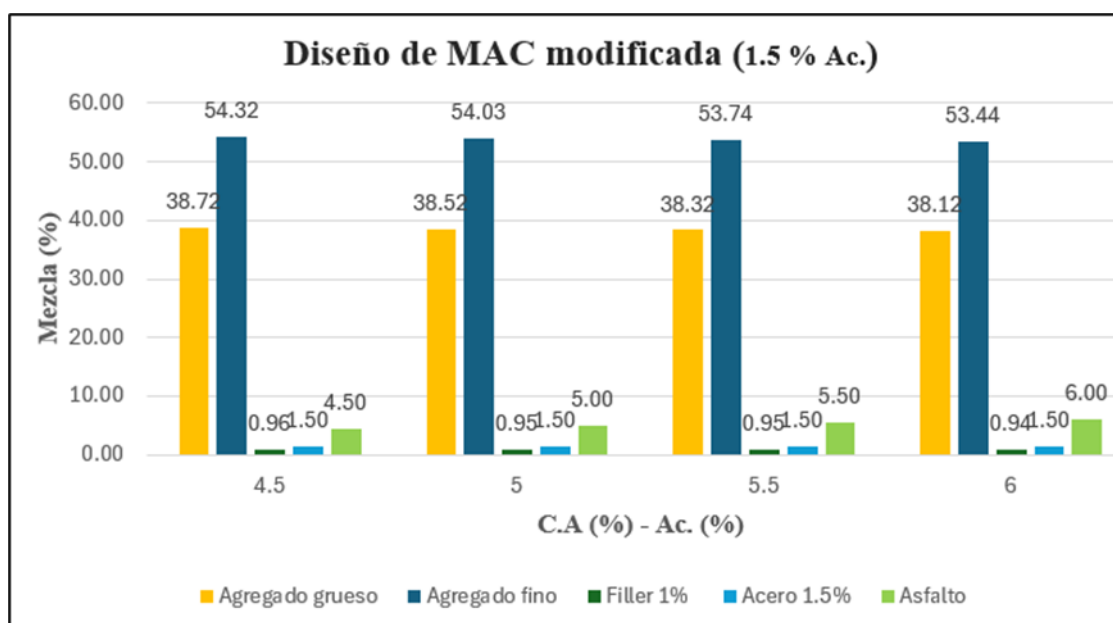
El gráfico detalla los porcentajes de diseño para MAC modificada, los cuales resultan ser variables debido a los diferentes porcentajes propuestos de cemento asfáltico (PEN 60/70). En esta mezcla modificada al 0.75% de limadura de acero, los materiales en su totalidad representan el 100% de una mezcla de 1200gr. ya que se trata de una sustitución de una fracción del agregado fino, es decir reemplazaremos parte de la arena por limadura de acero. Se usará para este diseño de mezcla 9 gr. de acero por muestra.

➤ **MAC modificada al 1.5% de limadura de acero.**

Tabla 43 Porcentaje de diseño de mezcla para MAC modificada + 1.5% AC.

MAC modificada - 1.5% Ac.				
%C.A	4.5	5	5.5	6
Insumos				
Agregado grueso	38.72	38.52	38.32	38.12
Agregado fino	54.32	54.03	53.74	53.44
Filler 1%	0.96	0.95	0.95	0.94
Acero 1.5%	1.50	1.50	1.50	1.50
Asfalto	4.50	5.00	5.50	6.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00

Gráfico 6 Proporción de diseño de MAC modificada (1.5%Ac.)



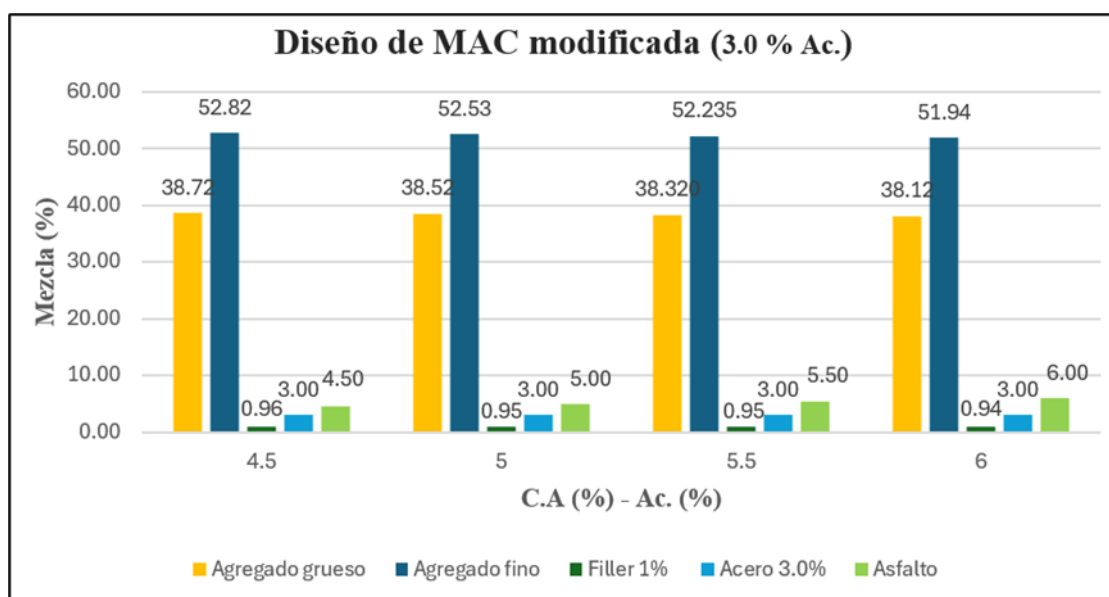
El gráfico muestra los porcentajes de diseño para MAC modificada, estos resultan ser variables según los diferentes porcentajes propuestos de cemento asfáltico (PEN 60/70) establecidos en el diseño. En esta mezcla modificada al 1.5% de limadura de acero, los materiales en su totalidad representan el 100% de una mezcla de 1200gr. ya que al tratarse de una sustitución se reemplazará una fracción de la arena por la limadura de acero. Se usará para este diseño de mezcla 18 gr. de acero por muestra.

➤ **MAC modificada al 3.0% de limadura de acero**

Tabla 44 Porcentaje de diseño de mezcla para MAC modificada + 3.0% AC

MAC - 3.0% Ac.				
%C.A	4.5	5	5.5	6
Insumos				
Agregado grueso	38.72	38.52	38.32	38.12
Agregado fino	52.82	52.53	52.24	51.94
Filler 1%	0.96	0.95	0.95	0.94
Acero 3.0%	3.00	3.00	3.00	3.00
Asfalto	4.50	5.00	5.50	6.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00

Gráfico 7 Proporción de diseño de MAC modificada (3.0%AC.)



En el gráfico se puede observar que los porcentajes de todos los materiales que conformarán la mezcla varían, esto debido a las diferentes proporciones de C.A. Para esta mezcla modificada al 3.0% de limadura de acero, los materiales en su totalidad representan el 100% de una mezcla de 1200gr. ya que al tratarse de una sustitución se reemplazará una fracción de la arena por la limadura de acero. La cantidad de limadura de acero que se utilizará para este diseño de mezcla es 36gr. por muestra.

➤ **Proporción de Limadura de acero para elaboración de briquetas**

Tabla 45 Peso total de limadura de acero

Limadura de acero (%gr)				
Insumo	% Diseño	Peso(gr)	Nº muestras	Peso total (gr)
	0.75	9.00	12	108
Limadura de acero (g)	1.50	18.00	82	1476
	3.00	36.00	12	432
TOTAL				2016.00

En la tabla se observa que para la elaboración de las briquetas a 0.75% Ac. las cuáles serán ensayadas por Marshall para el porcentaje óptimo de PEN se utilizará 108gr de limadura de acero, por otra parte, para 1.5% de limadura de acero se elaboró 82 briquetas por resultar este el mejor porcentaje de sustitución con un peso total de 1476 gr de acero, finalmente para la sustitución de 3% de limadura de acero por agregado fino se tendrá un total de 432gr para la elaboración de 12 briquetas. En total para todo el proyecto se utilizó 2016 gr de limadura de acero.

Ensayo Marshall (estabilidad y flujo)

Cada muestra fue sometida al ensayo mediante el método Marshall para obtener resultados relacionados con los parámetros volumétricos y de resistencia de la mezcla convencional y las mezclas modificadas, con el propósito de analizar sus propiedades físico-mecánicas y, posteriormente, determinar el porcentaje óptimo de C.A. A continuación, se presenta la relación entre cada parámetro de Marshall y los diferentes porcentajes de C.A. establecidos en el diseño de mezcla. Este ensayo también incluye parámetros volumétricos que serán fundamentales para evaluar las propiedades físicas de la mezcla asfáltica, como la variación del vacío de aire, el porcentaje de vacío de agregado mineral, el porcentaje de vacíos llenos de asfalto y la rigidez, medida como la relación entre estabilidad y fluencia, todo en función de la sustitución de limadura de acero en proporciones de 0.75%, 1.5% y 3%.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la prueba Marshall para las muestras con un contenido asfáltico de 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0% y a las diferentes dosificaciones de acero propuestas.

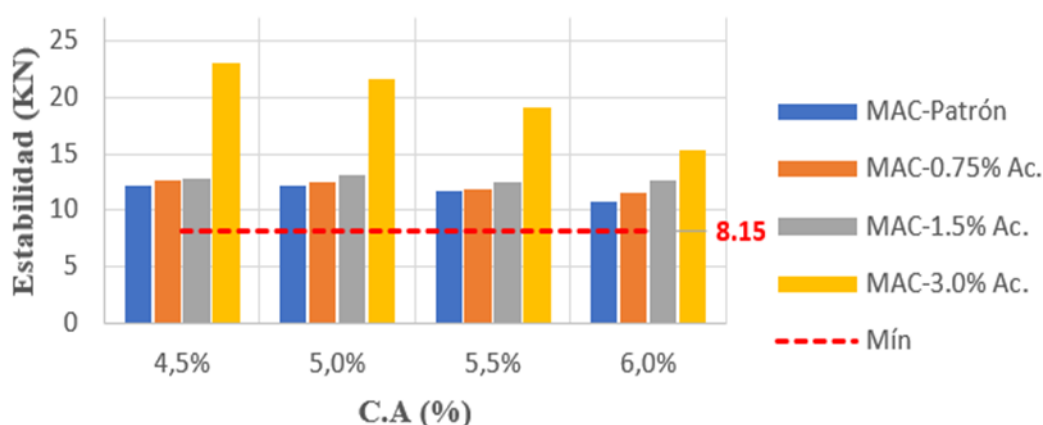
Estabilidad

Tabla 46 Relación Estabilidad Vs. contenido asfáltico

Estabilidad Vs. C.A (%)				
C.A.	MAC - Patrón	MAC - 0.75% Ac.	MAC - 1.5% Ac.	MAC - 3.0% Ac.
4.50%	12.20	12.71	12.76	23.10
5.00%	12.26	12.43	13.07	21.54
5.50%	11.65	11.92	12.54	19.13
6.00%	10.70	11.54	12.63	15.30

Gráfico 8 Relación estabilidad y %C.A.

Estabilidad Vs C.A. para MAC convencional y modificada



El parámetro de estabilidad de una MAC resulta ser un dato muy importante de evaluar, puesto que representa su capacidad máxima de resistencia a cargas y deformaciones, donde dichas cargas son generadas por el tráfico vehicular. Según las especificaciones y criterios de diseño Marshall normalizado en la MTC 504 hace mención que para un tráfico “A” la estabilidad debe ser como mínimo 8.15 KN de tal manera como se muestra en la gráfica para las mezclas patrón, 0.75% Ac., 1.5% Ac. 3% Ac. la estabilidad está por encima del parámetro de diseño, lo cual significa que los materiales empleados cumplen con el estándar. La estabilidad más alta la alcanzan las muestras modificadas con 3% de sustitución de acero en todos los porcentajes de PEN y a medida que el %C.A. aumenta la estabilidad baja.

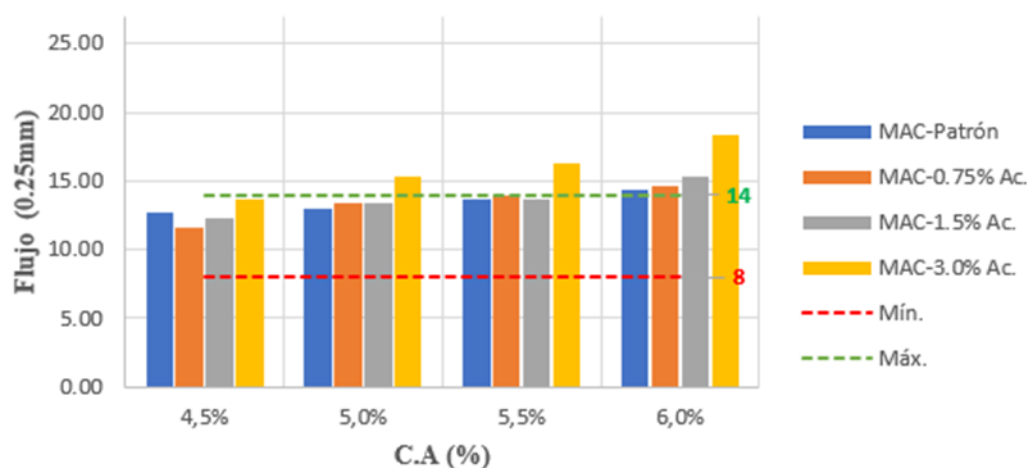
Flujo

Tabla 47 Relación Flujo Vs. contenido asfáltico

Flujo Vs. C.A.(%)				
C.A	MAC-Patrón	MAC-0.75% Ac.	MAC-1.5% Ac.	MAC-3.0% Ac.
4,5%	12.67	11.67	12.33	13.67
5,0%	13.00	13.33	13.33	15.33
5,5%	13.67	14.00	13.67	16.33
6,0%	14.33	14.67	15.33	18.33

Gráfico 9 Relación flujo y %C. A

Flujo Vs C.A. para MAC convencional y modificada



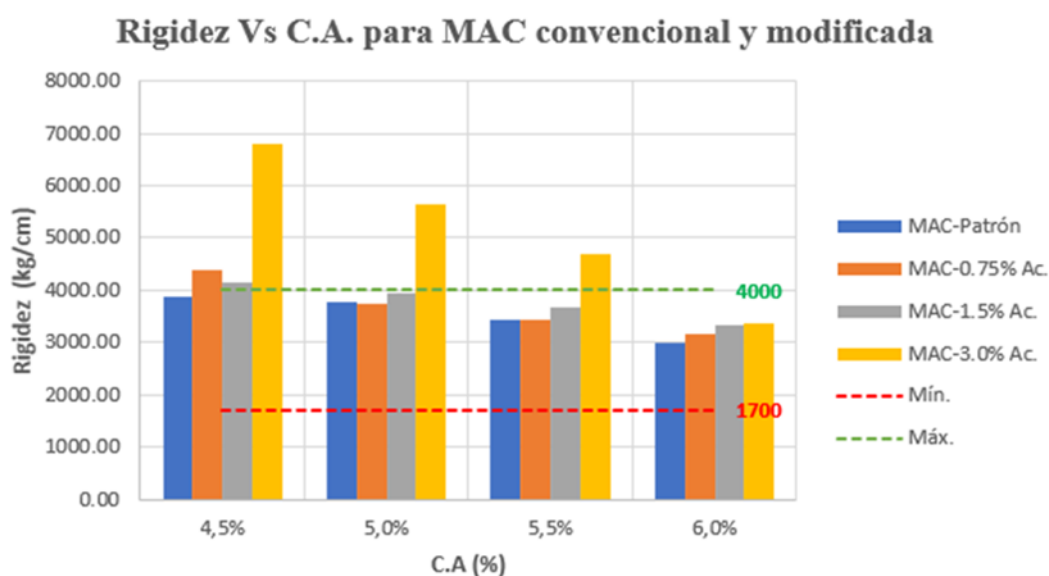
El flujo es un parámetro volumétrico muy importante dentro del ensayo Marshall ya que representa la capacidad de una mezcla asfáltica a deformarse por acción de cargas. Es de ahí que, en el gráfico, se puede observar que tanto la MAC convencional como la MAC modificada cumplen con los límites para el flujo que exige la ASTM d 1559, que es entre 8 (0.25mm) y 14(0.25mm), también se observa que la MAC modificada al 3% de acero con 5%,5.5% y 6% de PEN no cumple con los límites para flujo, siendo el valor más alto 18.33(0.25mm) para MAC modificada al 3% de sustitución de acero. Además, al aumentar el porcentaje de PEN el valor del flujo aumenta.

Rigidez - estabilidad/flujo

Tabla 48 Relación Rigidez Vs. contenido asfáltico

Rigidez Vs. C.A.(%)				
C.A.	MAC-Patrón	MAC-0.75% Ac.	MAC-1.5% Ac.	MAC-3.0% Ac.
4,5%	3869.66	4375.08	4157.84	6789.21
5,0%	3789.44	3745.78	3948.80	5644.16
5,5%	3425.43	3419.87	3685.50	4705.99
6,0%	3000.46	3158.34	3317.56	3352.29

Gráfico 10 Relación rigidez Vs % C.A



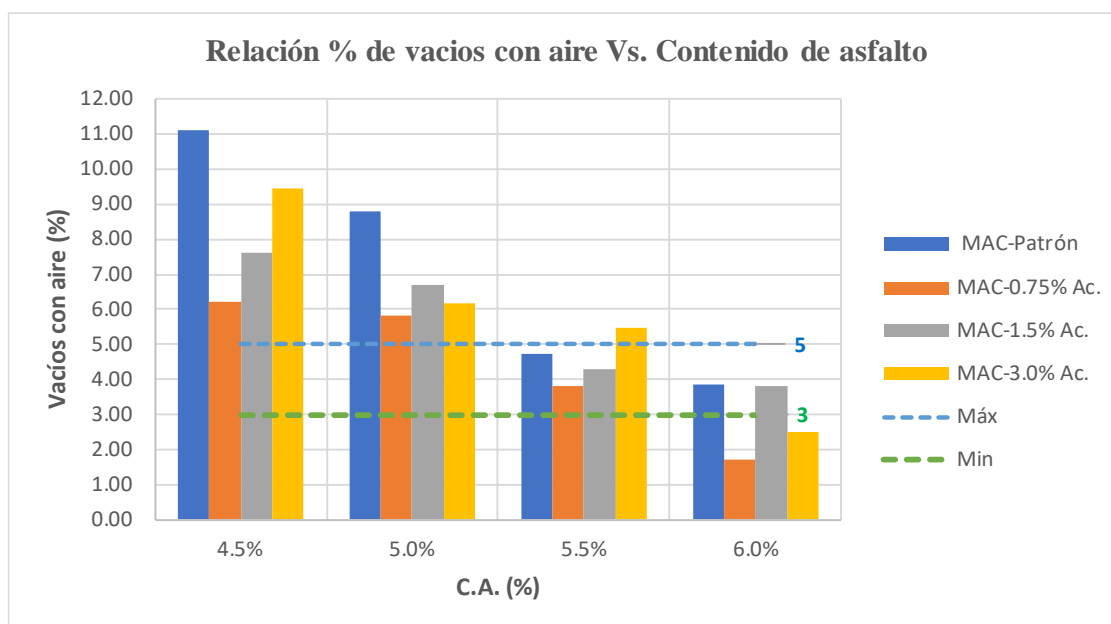
Con respecto a la relación estabilidad/flujo (Rigidez) como se puede observar en la figura, mientras el porcentaje de asfalto para cada tipo de mezcla va en aumento el valor de la rigidez, es decir, la estabilidad/flujo disminuye. Esto se justifica en que al tener un mayor contenido de porcentaje asfáltico el material se vuelve más elástico perdiendo a la vez su forma y capacidad de no deformarse rápidamente. Según establece la normativa el valor debe estar entre los parámetros de 1700kg/cm a 4000 kg/cm para un tráfico pesado, donde a partir de la gráfica se observa que los resultados obtenidos cumplen con el requisito en cada mezcla a excepción de la MAC-3.0% Ac. en los porcentajes de PEN 4.5%, 5.0% y 5.5%, así como la MAC 0.75% Ac. con un PEN 4.5%, donde el valor es mayor a 4000kg/cm, esto debido a su alto contenido de vacíos que generan deformación.

Vacíos con aire

Tabla 49 % de Vacíos

Vacíos (%)				
C.A.	MAC-Patrón	MAC-0.75% Ac.	MAC-1.5% Ac.	MAC-3.0% Ac.
4,5%	11,14	6,22	7,60	9,48
5,0%	8,79	5,80	6,70	6,17
5,5%	4,71	3,82	4,30	5,47
6,0%	3,84	1,73	3,80	2,50

Gráfico 11 Relación % de vacíos con aire Vs. Contenido de asfalto



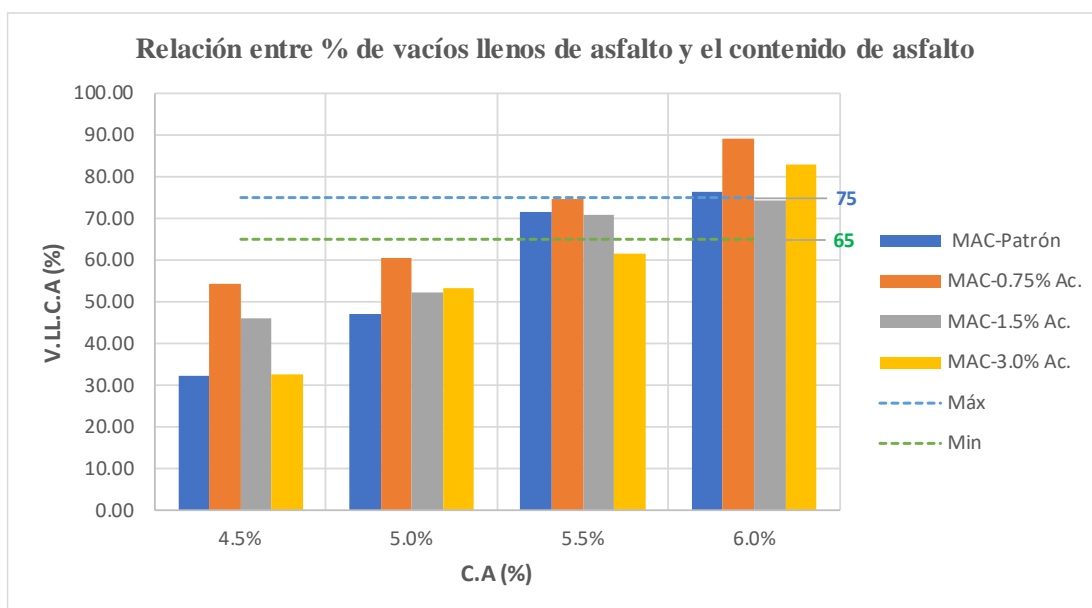
En la gráfica se observa que mientras es mayor el % C.A., el porcentaje de vacíos de aire (Va) es menor, es decir son inversamente proporcionales, ya que el asfalto es un ligante que recubre el material, además con respecto a la sustitución de acero dentro de la mezcla se demuestra que al aumentar el porcentaje de limadura de acero en la MAC van a existir menos vacíos, lo que hace referencia a la propiedad de ser insoluble al agua según la caracterización realizada en un laboratorio químico, lo que representa una baja absorción del agua y por ende bajo porcentaje de vacíos.

Vacios llenos de asfalto

Tabla 50 Vacíos llenos de asfalto Vs. contenido asfáltico

V.LL.C.A (%)				
C.A.	MAC-Patrón	MAC-0.75% Ac.	MAC-1.5% Ac.	MAC-3.0% Ac.
4,5%	32,21	54,37	46,17	32,78
5,0%	47,11	60,47	52,44	53,37
5,5%	71,56	74,88	71,03	61,74
6,0%	76,47	89,23	74,46	83,19

Gráfico 12 Relación % de vacíos llenos de asfalto Vs % C.A.



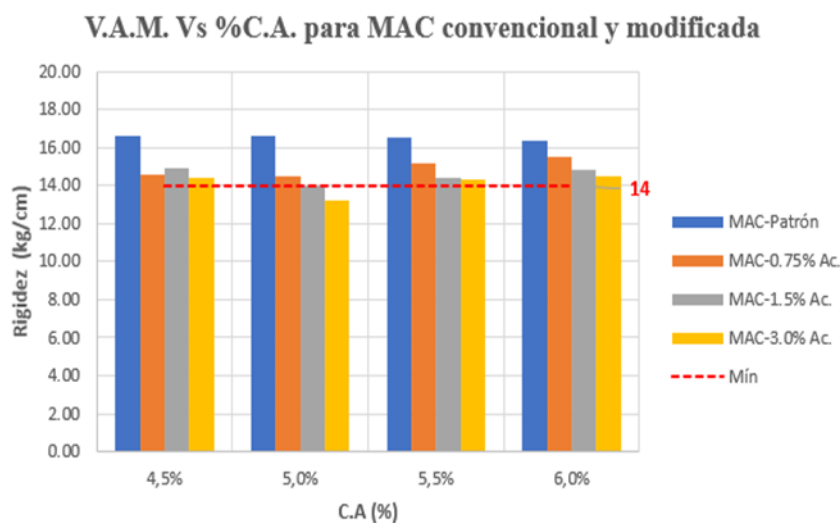
De los resultados representados en la gráfica se puede analizar que la relación entre VFA y el porcentaje de C.A es directamente proporcional, es decir que el incremento de los vacíos llenos de C.A. es debido al aumento del porcentaje asfáltico. Por otra parte, la MAC-0.75% Ac. y la MAC-1.5% Ac. al relacionarlo con un porcentaje asfáltico de 5.5% y 6% si cumplen con los parámetros de la ASTM, cuyo rango está entre 65% - 75%, pero al no cumplir con el porcentaje de C.A. 4.5% no cumple con la metodología Marshall la cual indica que el parámetro VFA debe cumplir con la totalidad del rango óptimo establecido en el diseño de mezcla asfáltica, es decir dentro del rango óptimo $\pm 0,5$. Esto implica seguir probando otros porcentajes óptimos de C.A hasta cumplir con los límites de especificación, ya que al tener un porcentaje bajo de VFA significa una inadecuada proporción de C.A y si se quiere evaluar un tráfico con alto volumen de tráfico se necesita un menor contenido de asfalto y por ende una bajo % VFA para mejorar la estabilidad de la mezcla.

Vacíos de agregado mineral

Tabla 51 V.M.A (%)

V.M.A (%)				
C.A.	MAC-Patrón	MAC-0.75% Ac.	MAC-1.5% Ac.	MAC-3.0% Ac.
4,5%	16.64	14.54	14.88	14.40
5,0%	16.61	14.51	14.00	13.19
5,5%	16.50	15.14	14.40	14.29
6,0%	16.32	15.53	14.86	14.46

Gráfico 13 Relación entre VMA y contenido de asfalto



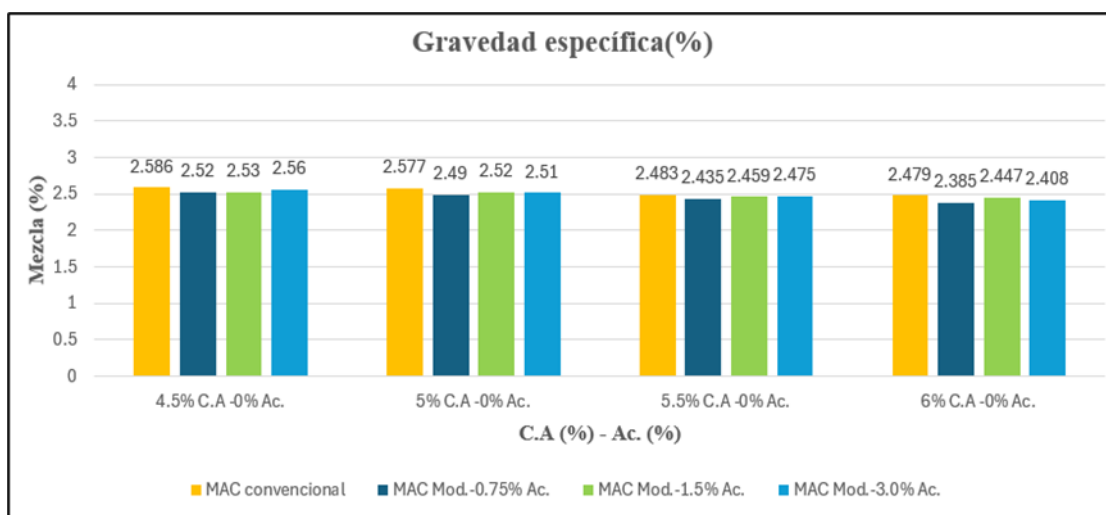
El volumen de vacíos de agregado mineral (VMA) representa lo que no es agregado, además que garantiza la existencia de una capa de recubrimiento mínima de los agregados, esto se evalúa teniendo en cuenta la Tabla 423-10 del MTC, en donde indica que el porcentaje de V.M.A. debe ser mayor a 14%, parámetro que según los resultados obtenidos si cumple para todas mezclas, esto indica que los materiales utilizados para el diseño de mezcla tienen óptimas propiedades y una forma adecuada del agregado. Además, se observa que mientras el porcentaje de sustitución de limadura de acero aumenta el vacío de agregado mineral disminuye, por otra parte, la MAC convencional es el que mayor valor de vacíos de agregado mineral. Según la ICG recomienda tener valores mínimos de V.M.A. para proporcionar espacio que será ocupado por una cantidad adecuada de asfalto logrando la durabilidad y vacíos de aire óptimos que le proporcionarán a la mezcla una mejor estabilidad, basándose en esto podemos decir que la mezcla convencional cumple con esta propiedad dado su valor mínimo de V.A.M.

Ensayo rice o gravedad específica

Tabla 52 Ensayo Gravedad específica (RICE) para MAC convencional y modificada

ENSAYO RICE para MAC convencional y modificada				
Mezcla \ %C.A	4.5	5.0	5.5	6.0
MAC convencional	2.586	2.577	2.483	2.479
MAC Mod.-0.75% Ac.	2.52	2.49	2.435	2.385
MAC Mod.-1.5% Ac.	2.53	2.52	2.459	2.447
MAC Mod.-3.0% Ac.	2.56	2.51	2.475	2.408

Gráfico 14 Gráfico del ensayo de Gravedad específica-RICE



En el gráfico, se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de C.A, la gravedad específica disminuye para todas las mezclas tanto convencional como modificada, esto se debe a que al aumentar el PEN este hace a la mezcla sea más blanda, por lo tanto, la gravedad específica disminuya debido a su baja densidad que hace que ocupe más espacio por unidad de masa.

Porcentaje óptimo de C.A. para MAC convencional y modificada

Una vez realizado el análisis de los resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall, procedemos a determinar el porcentaje óptimo de C.A. respetando los requisitos especificados en la ASTM 1559.

Los valores obtenidos en relación con los parámetros volumétricos y mecánicos (estabilidad – flujo) permitieron determinar el porcentaje óptimo de contenido asfáltico, siendo este de 5.61%, ya que cumple con los requisitos establecidos en el diseño Marshall, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 53 Parámetros de Diseño Marshall para mezcla convencional

Parámetros de Diseño	Und	Características de la MAC	Especificaciones técnicas ASTM	Criterio
Golpes		75	75	75
%C.A.	%	5.61	-	-
Peso Unitario	gr/cc	2.38	-	-
Vacíos	%	4.98	3-5	Cumple
V.M.A.	%	16.47	Min. 14	Cumple
V.F.A.	%	70.02	65-75	Cumple
Polvo / Asfalto		1.12	0.6-1.3	Cumple
Estabilidad / Flujo	kg/cm	3417.02	1700-4000	Cumple
Flujo	0.25 mm	13.76	8-14	Cumple
Estabilidad	kg	1175.67	Min. 815	Cumple

Analizando la tabla, se observa que con un porcentaje de 5.61% de C.A. los parámetros del Ensayo Marshall cumplen con las especificaciones técnicas ASTM d 1559, resaltando la estabilidad de 1264.9 kg y el flujo de 3.45 mm, propiedades mecánicas importantes de evaluar ya que la estabilidad al tener un valor alto define a la vez una alta rigidez y tendencia a resistir empujones y surcos, por otro lado el flujo al encontrarse dentro del rango establecido indica tener una óptima resistencia al asentamiento gradual.

Gráfico 16 Peso Unitario en función del % C.A.

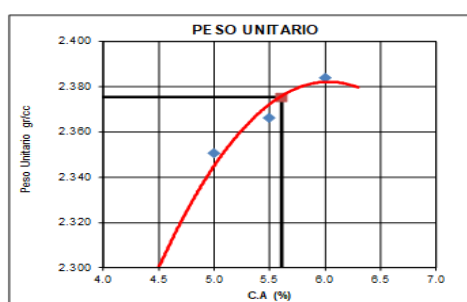


Gráfico 15 Porcentaje de vacíos en función de % C.A.

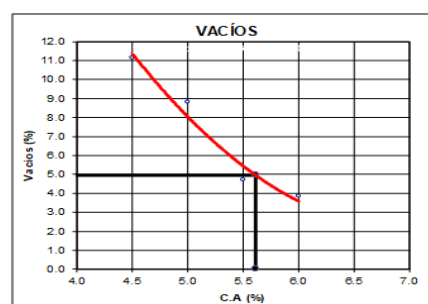


Gráfico 18 Vacíos del agregado mineral en función del % C.A.

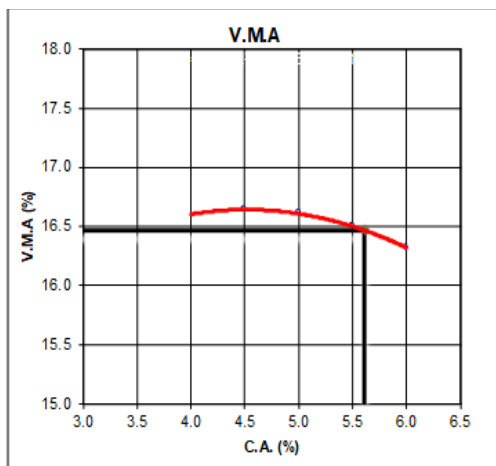


Gráfico 17 Vacíos llenos de asfalto en función del % C.A.

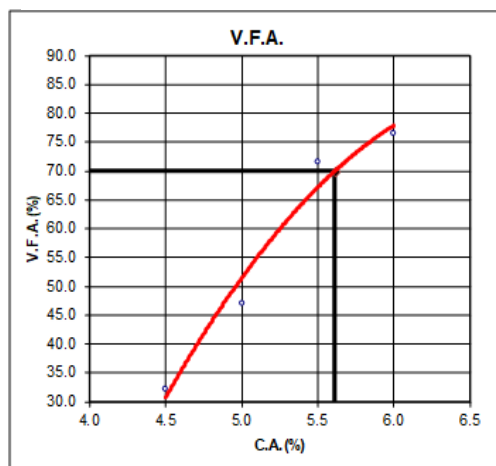


Gráfico 20 Polvo / asfalto en función de % C.A.

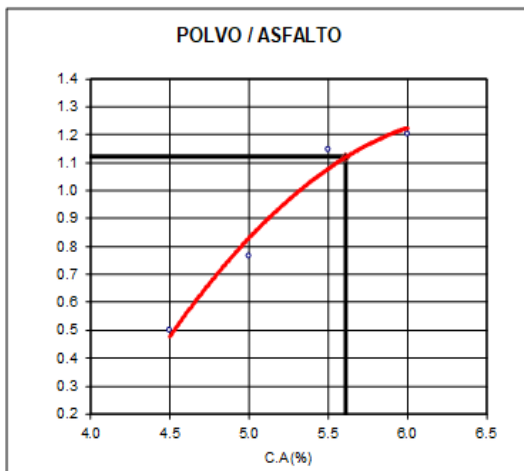


Gráfico 19 Flujo en función del % C.A.

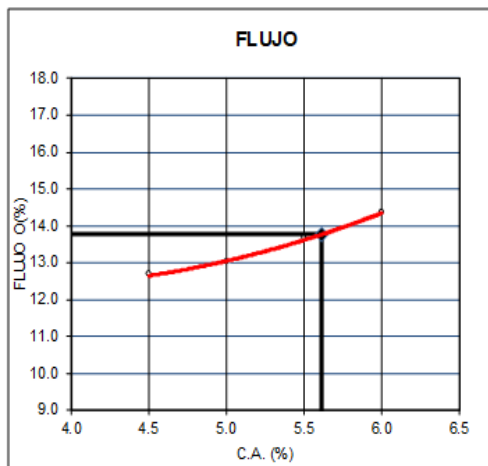
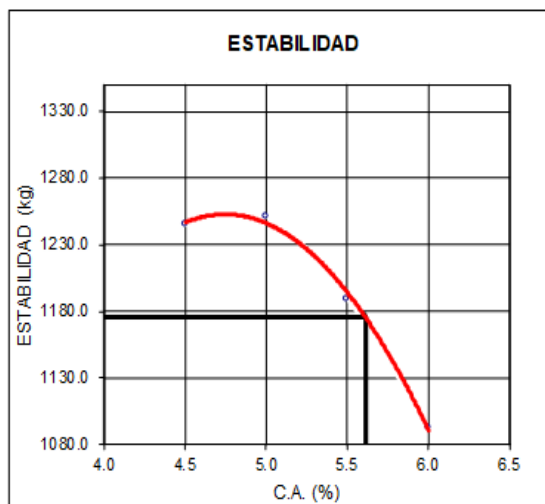


Gráfico 21 Flujo en función del % de C.A



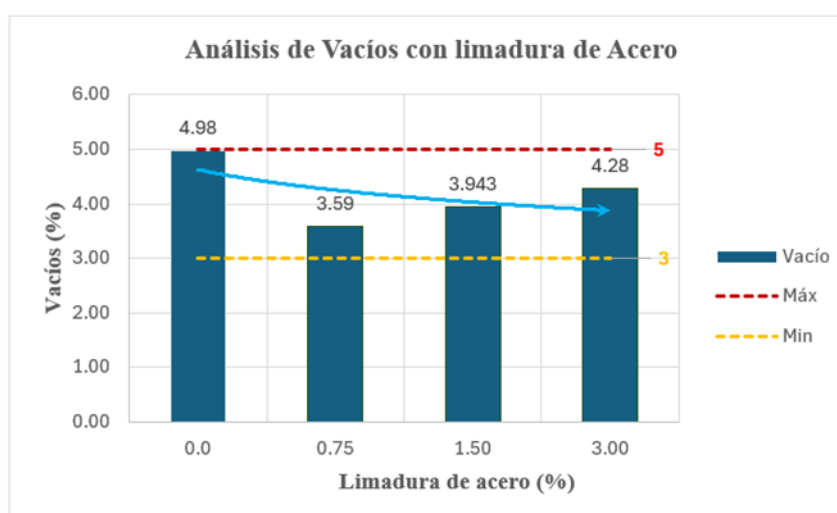
➤ **Evaluación de las mezclas modificadas al %PEN óptimo (5.61%) de la MAC convencional**

Tabla 54 Resultados de parámetros Marshall de MAC convencional y modificada

Parámetros	Und	Convencional		Modificado	
Óptimo de Asfalto			5.61%		
Limadura de acero	%	0.0	0.75	1.50	3.00
Peso Unitario	gr/cc	2.375	2.344	2.353	2.351
Vacío	%	4.98	3.59	3.943	4.28
V.M.A.	%	16.47	15.29	14.56	13.93
V.F.A.	%	70.02	78.31	69.31	67.26
Polvo / Asfalto		1.12	1.14	0.97	0.95
Estabilidad / Flujo	kg/cm	3417.00	3434.84	3653.65	4338.92
Flujo	0.25 mm	13.76	14.11	14.0	16.93
Estabilidad	kg	1175.70	1211.86	1298.65	1836.95

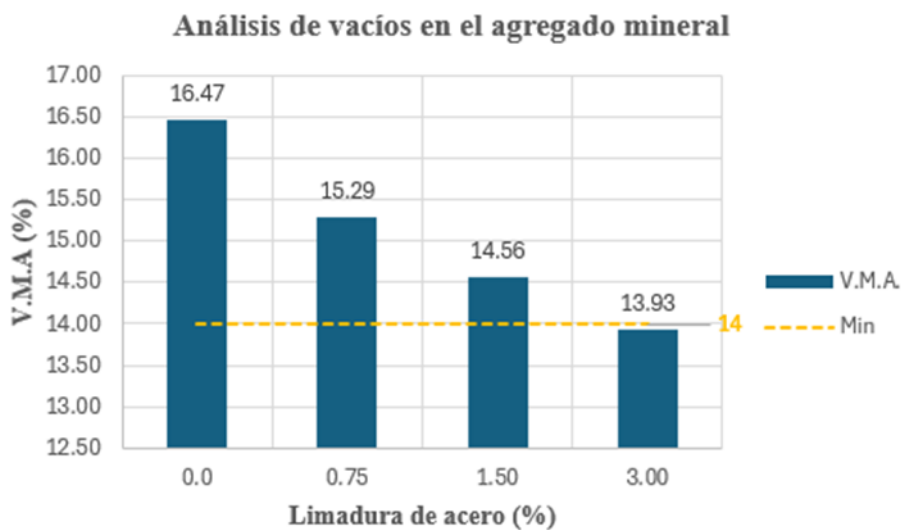
Según la tabla se muestra las comparaciones de la muestra convencional y las modificadas a un 5.61% de PEN ya que este resultó óptimo para la MAC convencional cumpliendo con las especificaciones del ensayo Marshall, es por esto que se toma este valor para hacer las comparaciones entre una MAC modificada y patrón ya que, serán evaluadas en las mismas condiciones en los ensayos mecánicos. A continuación, se hace una comparación de los parámetros volumétricos Marshall entre la MAC convencional y las propuestas a 0.75%, 1.5% y 3% de sustitución de limadura de acero.

Gráfico 22 Análisis de Vacíos con sustitución de limadura de acero al 5.61% C.A



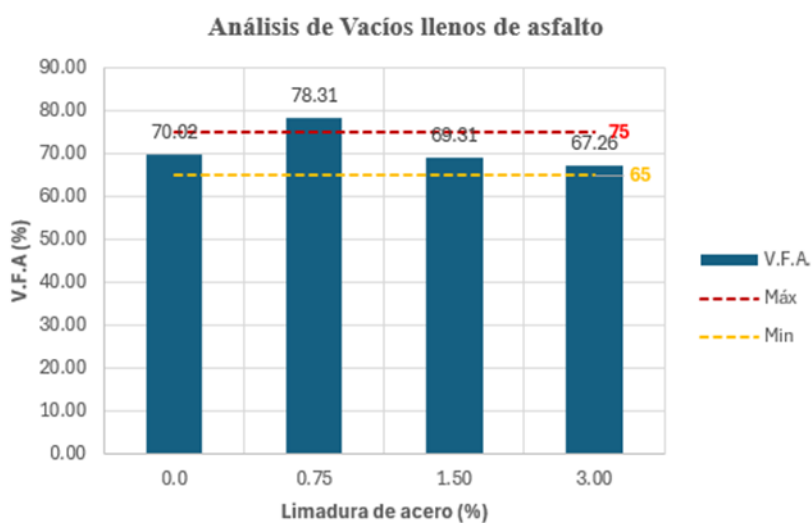
En el gráfico, se observa que en cuanto aumenta el porcentaje de acero, los vacíos también los hacen, sin embargo, la mezcla patrón es la que más porcentaje de vacío tiene.

Gráfico 23 Análisis de vacíos en el agregado mineral con sustitución de acero



Según lo que se observa en el gráfico las únicas mezclas que cumplen con los parámetros Marshall son la mezcla convencional con un valor de 16.47% y la mezcla modificada con sustitución al 0.75% y 1.5% teniendo un valor de 15.29% y 14.56% respectivamente, por encima del mínimo que es 14%. Según la ICG recomienda tener valores mínimos de VAM para proporcionar espacio que será ocupado por una cantidad adecuada de asfalto logrando la durabilidad y vacíos de aire óptimos que le proporcionarán a la mezcla una mejor estabilidad, basándose en esto podemos decir que la mezcla convencional cumple con esta propiedad dado su valor mínimo de VAM.

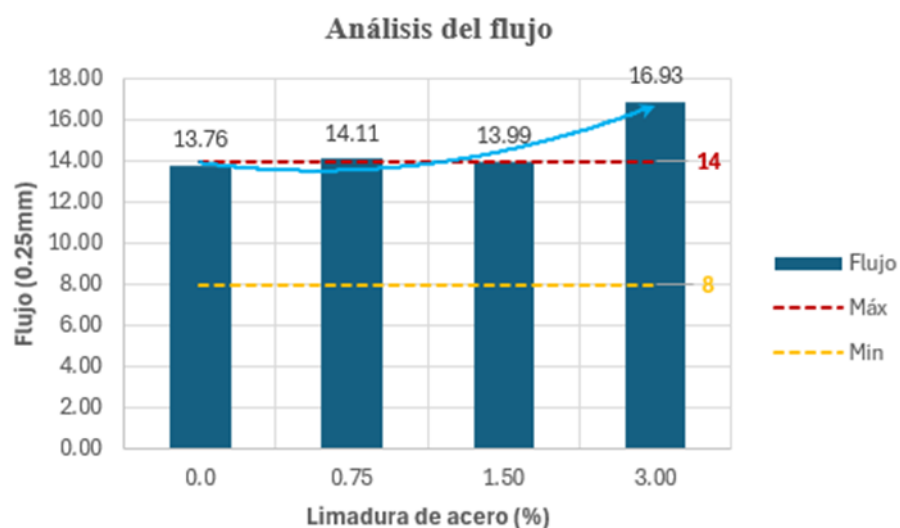
Gráfico 24 Análisis de Vacíos llenos de asfalto con sustitución de acero con 5.61%



En el gráfico, se observa que a mayor % de limadura de acero menores serán los vacíos llenos de asfalto. La mezcla convencional, así como la mezcla modificada cumplen con el

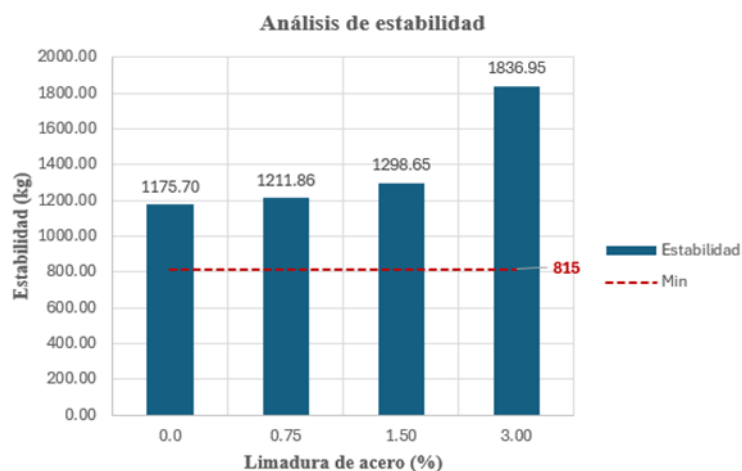
parámetro para VFA a excepción de la sustitución 0.75% de limadura de acero que tiene el valor de 78.31%, por encima del rango de 65%-75%, la mezcla con la sustitución de limadura de acero al 1.5% se asemeja más al valor de la mezcla convencional, cabe resaltar que si tuviera valores bajos de VFA. la durabilidad se vería afectada al igual que la estabilidad debido a los valores altos de Vacíos, sin embargo, las mezclas propuestas si cumplen con el rango establecido en todos los porcentajes demostrando una buena influencia en las MAC.

Gráfico 25 Análisis del flujo con la sustitución de acero con 5.61%PEN



En el gráfico, se observa un incremento en el flujo cuando el porcentaje de sustitución aumenta, sin embargo la mezcla modificada con 3% de limadura de acero presenta un alto flujo saliéndose del rango establecido por la EG-2013 que está entre 8-14 (0.01”), es preciso decir que el flujo es la capacidad de resistir al asentamiento gradual y la deformación sin agrietarse [50], para hacer mención que tanto la MAC convencional, como la MAC modificada en 0.75% y 1.5% de acero pueden aportar estas propiedad a la mezcla.

Gráfico 26 Análisis del flujo con la sustitución de acero con 5.61% C.A



Los resultados de estabilidad cumplen con el mínimo valor especificado en la EG-2013, que es 815 kg, como se muestra en el gráfico tanto para mezcla convencional como para la modificada la estabilidad es alta, siendo con la sustitución de 3% de acero la mejor estabilidad y la vez una mezcla muy rígida, pudiendo causar problemas de fatiga en el pavimento.

➤ **Porcentaje óptimo de C.A. para MAC con 0.75% de sustitución de limadura de acero**

Los valores obtenidos con respecto a los parámetros volumétricos y a la vez mecánicos (estabilidad – flujo) se logró obtener el porcentaje óptimo de contenido asfáltico siendo este el valor de 5.41%, ya que este porcentaje cumple con los requisitos del diseño Marshall, la cual se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 55 Parámetros de Diseño Marshall para MAC con 0.75% de sustitución de acero

Parámetros de Diseño	Und	Características de la MAC	Especificaciones técnicas ASTM	Criterio
Golpes		75	75	75
%C.A.	%	5.41	-	-
Peso Unitario	gr/cc	2.35	-	-
Vacios	%	4.38	3-5	Cumple
V.M.A.	%	15.02	Min. 14	Cumple
V.F.A.	%	73.55	65-75	Cumple
Polvo / Asfalto		1.05	0.6-1.3	Cumple
Estabilidad / Flujo	kg/cm	3783.17	1700-4000	Cumple
Flujo	0.25 mm	13.73	8-14	Cumple
Estabilidad	kg	1229.55	Min. 815	Cumple

De la tabla mostrada, se observa que para una MAC con 0.75% de limadura de acero y un porcentaje de 5.41% de C.A. los parámetros del Ensayo Marshall cumplen con las especificaciones técnicas ASTM D 1559, resaltando la estabilidad de 1229.55 kg y el flujo de 13.73 mm, propiedades mecánicas importantes de evaluar ya que la estabilidad al tener un valor alto define a la vez una alta rigidez y tendencia a resistir empujones y surcos, por otro lado el flujo al encontrarse dentro del rango establecido indica tener una óptima resistencia al asentamiento gradual y deformación sin agrietamiento.

➤ **Porcentaje óptimo de C.A. para MAC con 1.5% de sustitución de limadura de acero**

Según la tabla mostrada, indica que el mejor porcentaje de limadura de acero que cumple con el 5.61% de PEN que resultó para la MAC convencional es la de 1.5% de sustitución de acero, debido a que este porcentaje cumple con los requisitos del diseño Marshall, la cual se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 56 Parámetros de Diseño Marshall para MAC con 1.5 % de sustitución de acero

Parámetros de Diseño	Und	Características de la MAC	Especificaciones técnicas ASTM	Criterio
Golpes		75	75	75
%C.A.	%	5.61	-	-
Peso Unitario	gr/cc	2.35	-	-
Vacíos	%	3.94	3-5	Cumple
V.M.A.	%	14.56	Min. 14	Cumple
V.F.A.	%	69.31	65-75	Cumple
Polvo / Asfalto		0.97	0.6-1.3	Cumple
Estabilidad / Flujo	kg/cm	3653.64	1700-4000	Cumple
Flujo	0.25 mm	14.00	8-14	Cumple
Estabilidad	kg	1298.65	Min. 815	Cumple

De la anterior, se resalta la estabilidad de 1298.65 kg y el flujo de 14.00 (0.25mm), propiedades mecánicas con las que se hará comparaciones para establecer cuál es el mejor porcentaje de limadura de acero al incluirla en el diseño de mezcla.

➤ **Porcentaje óptimo de C.A. para MAC con 3.0% de sustitución de limadura de acero**

Para la sustitución de 3.0% de acero se obtuvo resultados con respecto a los parámetros volumétricos y a la vez mecánicos (estabilidad – flujo) donde se destaca que la cantidad óptima de contenido asfáltico para esta MAC es 5.55 %, ya que este porcentaje cumple con los requisitos del diseño Marshall, se detalla a continuación en la tabla:

Tabla 57 Parámetros de Diseño Marshall para MAC con 3.0 % de sustitución de acero

Parámetros de Diseño	Und	Características de la MAC	Especificaciones técnicas ASTM	Criterio
Golpes		75	75	75
%C.A.	%	5.55	-	-
Peso Unitario	gr/cc	2.35	-	-
Vacíos	%	4.29	3-5	Cumple
V.M.A.	%	13.93	Min. 14	No cumple
V.F.A.	%	69.26	65-75	Cumple
Polvo / Asfalto		0.95	0.6-1.3	Cumple
Estabilidad / Flujo	kg/cm	4338.92	1700-4000	Cumple
Flujo	0.25 mm	16.93	8-14	No cumple
Estabilidad	kg	4338.92	Min. 815	Cumple

De la tabla mostrada, se observa que con un porcentaje de 5.55% de C.A., algunos parámetros del Ensayo Marshall cumplen con las especificaciones técnicas ASTM d 1559, ya que por ejemplo el parámetro de vacío con agregado mineral está por debajo del límite, sin embargo, los parámetros más importantes de evaluar son la estabilidad que tiene un valor de 1305.18 kg y el flujo de 16.93 (0.25mm). Si bien la estabilidad es muy buena al 3% de limadura de acero, no sucede lo mismo al evaluar el flujo ya que este tiene 2.93% más del límite que establece la norma, cabe resaltar que un alto flujo representa que la mezcla es susceptible a deformaciones plásticas bajo carga además puede estar asociado con una mayor susceptibilidad a la fatiga y al agrietamiento bajo repetidas cargas de tráfico [51].

Tabla 58 Características Marshall y %PEN óptimos para cada MAC modificada

Sustitución (%)	Parámetros de Diseño	Und	Características de la MAC	Especificaciones técnicas ASTM	Criterio
			%C.A. de 5.41%		
0.75	Flujo	0.25 mm	13.73	8-14	Cumple
	Estabilidad	kg	1229.55	Min. 815	Cumple
			%C.A. de 5.61%		
1.5	Flujo	0.25 mm	14.00	8-14	Cumple
	Estabilidad	kg	1298.65	Min. 815	Cumple
			%C.A. de 5.55%		
3	Flujo	0.25 mm	16.93	8-14	No cumple
	Estabilidad	kg	1836.95	Min. 815	Cumple

Análisis de resultados Marshall

A partir de las tablas y gráficos anteriores podemos sintetizar en que el mejor porcentaje de sustitución para la elaboración del diseño de mezcla asfáltica con limadura de acero es con 1.5% de sustitución ya que, la estabilidad y flujo cumplen con las especificaciones de la normativa, si bien la MAC con 0.75% también está dentro de los límites establecidos, en comparación a la MAC con 1.5% de acero tiene menor estabilidad, por otra parte la MAC al 3% de limadura de acero tiene la mejor estabilidad pero el flujo sobrepasa el límite establecido por la ASTM d 1559 que es 14 (0.25mm). Es por lo que para los siguientes ensayos se tomará como sustitución óptima al 1.5% de sustitución parcial de agregado fino en una MAC.

Gráfico 27 Estabilidad según %PEN óptimo para cada % Ac

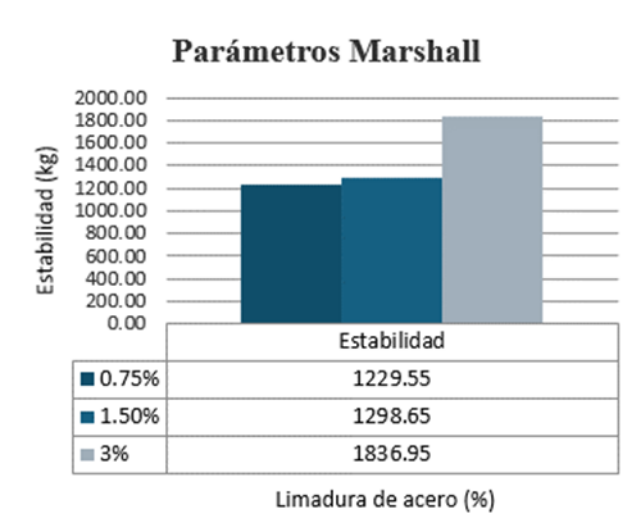
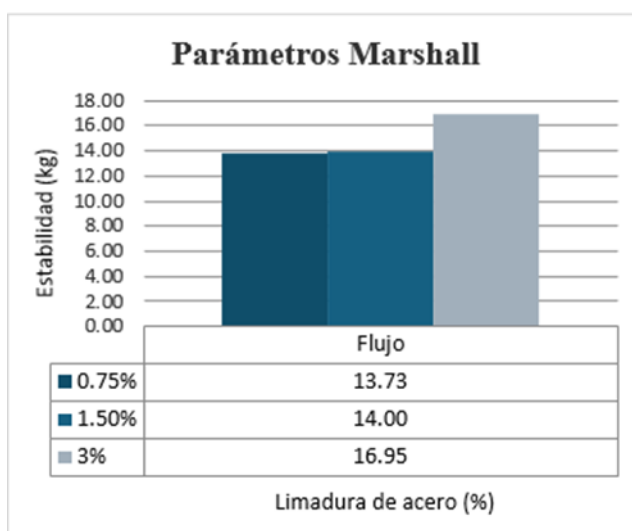


Gráfico 28 Flujo según %PEN óptimo para cada % Ac.



Ensayos físico - mecánicos para MAC convencional y modificada al 1.5% de sustitución

Los siguientes ensayos se llevaron a cabo con muestras cuyo porcentaje óptimo de C.A. es 5.61% y con respecto a la limadura de acero con un porcentaje de 1.5% los cuales al ser evaluados cumplieron con las especificaciones técnicas establecidas por la EG-2013 para ensayo Marshall.

Ensayo de desgaste – MTC 515

➤ **Ensayo de Desgaste (Cántabro) en estado seco – MTC 515**

Ilustración 40 Muestra de briquetas a ser ensayadas



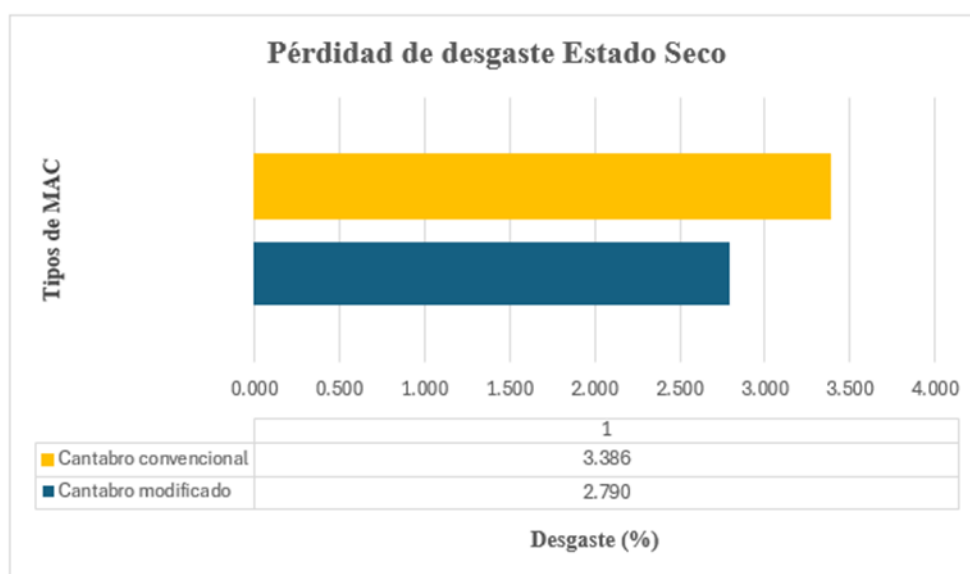
Tabla 59 Resultados de Ensayo de desgaste para MAC convencional - Estado Seco

		Cántabro MAC convencional - Estado Seco							
Parámetros	Und.	N° de muestras							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Estado de probeta inicial P1	gr.	1187.8	1187.64	1187.02	1164.68	1194.01	1181.02	1188.95	1186.23
Estado de probeta después del ensayo P2	gr.	1154.38	1144.57	1144.44	1120.74	1146.8	1146.1	1142.33	1157.05
Pérdida por desgaste	%	2.814	3.627	3.587	3.773	3.954	2.957	3.921	2.460
PERDIDA POR DESGASTE	%	3.386							

Tabla 60 Resultados de Ensayo de desgaste para MAC modificada - Estado Seco

Cántabro MAC modificada al 1.5% Ac. - Estado Seco									
Parámetros	Und.	N° de muestras							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Estado de probeta inicial P1	gr.	1195.51	1185.51	1194.91	1194.36	1193.58	1193.15	1173.68	1193.26
Estado de probeta despues del ensayo P2	gr.	1167.45	1149.75	1158.68	1169.73	1151.23	1152.65	1148.89	1159.76
Pérdida por desgaste	%	2.35	3.02	3.03	2.06	3.55	3.39	2.11	2.81
PERDIDA POR DESGASTE	%	2.790							

Gráfico 29 Relación entre la pérdida de desgaste para MAC convencional y modificada



Según se muestra en grafica para MAC convencional y modificada, el desgaste de la MAC convencional es mayor que el desgaste de la MAC modificada, brindando una mayor justificación al incluir limadura de acero en un diseño de mezcla, ya que presenta un bajo porcentaje de desgaste. Cabe resaltar que el propósito de este ensayo es la resistencia de la mezcla frente a la acción del agua por lo que el acero al tener dentro de sus propiedades químicas la insolubilidad (caracterización de limadura de acero) al agua puede proporcionar a la mezcla una menor absorción de este líquido elemento y por ende un menor desgaste en los pavimentos.

➤ **Ensayo de Desgaste (Cántabro) en estado húmedo – MTC 515**

Ilustración 41 briquetas sometidas a temperaturas de ensayo



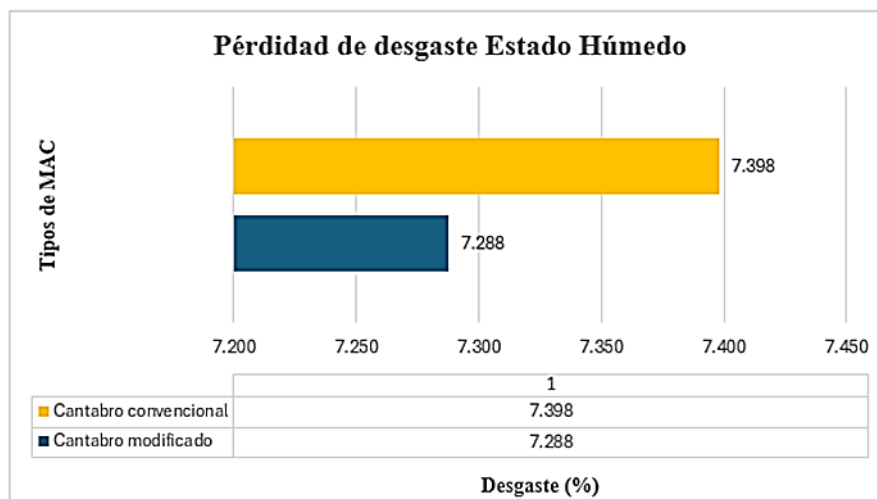
Tabla 61 Resultados de Ensayo de desgaste para MAC convencional - Estado húmedo

		Cántabro MAC convencional - Estado Húmedo							
Parámetros	Und.	N° de muestras							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Estado de probeta inicial P1	gr.	1200.16	1202.64	1197.02	1194.68	1199.01	1189.72	1198.95	1196.23
Estado de probeta despues del ensayo P2	gr.	1098.48	1102.29	1109.13	1110.7	1117.09	1105.87	1118.06	1108.06
Pérdida por desgaste	%	8.472	8.344	7.342	7.029	6.832	7.048	6.747	7.371
PERDIDAD POR DESGASTE	%	7.398							

Tabla 62 Resultados de Ensayo de desgaste para MAC Modificada - Estado húmedo

		Cántabro MAC modificada a 1.5% Ac. - Estado Húmedo							
Parámetros	Und.	N° de muestras							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Estado de probeta inicial P1	gr.	1190.61	1201.17	1198.4	1195.32	1199.12	1198.23	1193.52	1187.41
Estado de probeta despues del ensayo P2	gr.	1100.89	1095.38	1115.77	1102.28	1107.35	1123.9	1111.44	1109.69
Pérdida por desgaste	%	7.536	8.807	6.895	7.784	7.653	6.203	6.877	6.545
PERDIDAD POR DESGASTE	%	7.288							

Gráfico 30 Relación entre la pérdida de desgaste para MAC convencional y modificada E.H.



Con respecto a los resultados obtenidos en el ensayo Cántabro en estado húmedo regido por la Norma Técnica Española NLT 352, se observa en gráfico que el desgaste de la MAC convencional es 7.39% siendo este mayor que el desgaste de la mezcla modificada que tiene un valor de 7.29%, cabe mencionar que un menor porcentaje de desgaste indica una mayor resistencia a la pérdida de masa y, por lo tanto, brinda una mejor durabilidad a la mezcla asfáltica, lo cual resulta importante de ejecutar en lugares de alta pluviosidad.

Ensayo lottman

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la resistencia frente al daño causado por humedad, teniendo como referencia las normas de MTC-E 522 y AASHTO T 283.

Ilustración 42 Briquetas a ser ensayadas-Lottman

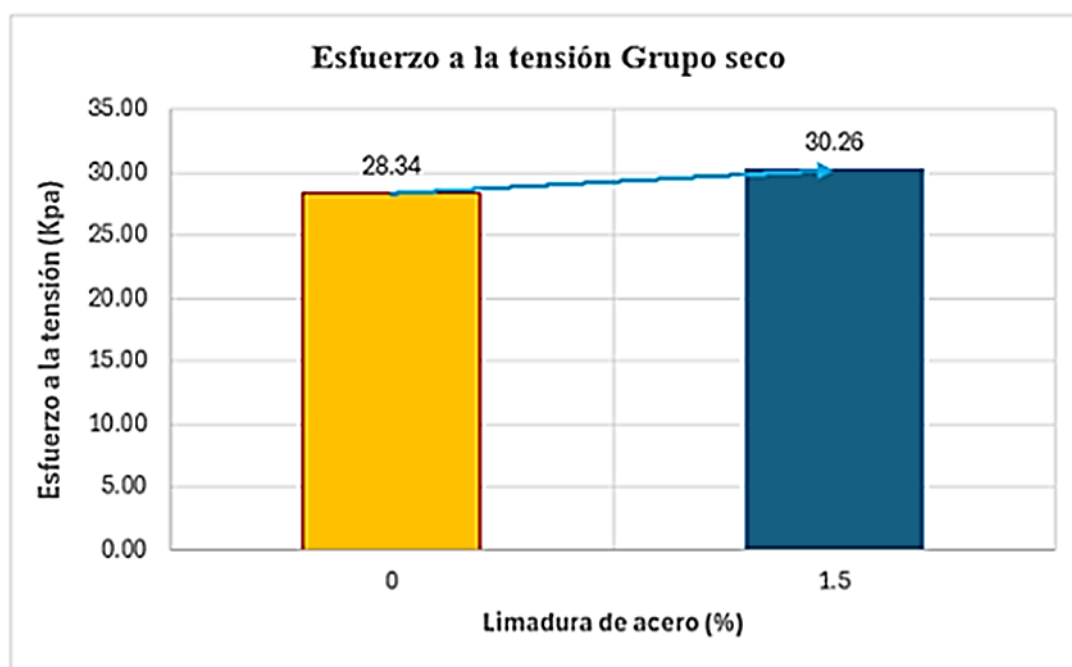


Tabla 63 Resultados de la resistencia por humedad inducida para MAC convencional y modificada

Parámetros	MAC convencional	MAC modificada	Criterio
Limadura de acero (%)	0.0	1.5	
Esfuerzo a la tensión seco (Kpa)	28.34	30.26	80% mínimo
Esfuerzo a la tensión Húmedo (Kpa)	35.00	36.01	
Tracción indirecta (%)	80.96	84.04	Cumple

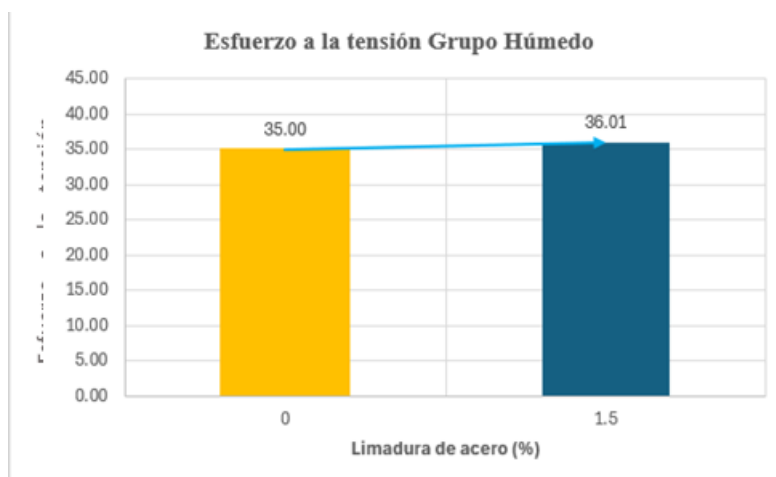
A continuación, se evalúa los valores obtenidos de esfuerzo a Tensión para las muestras agrupadas en seco y saturados tanto para mezcla convencional como para modificada.

Gráfico 31 Esfuerzo a la tensión Grupo Seco para MAC convencional y modificada



De la gráfica, se detallan los valores del esfuerzo a la tensión del grupo seco tanto de la MAC convencional como modificada, siendo esta última la que tiene un mayor valor con 30.26 Kpa comparado a la MAC convencional que tiene 28.34Kpa, resultando favorable.

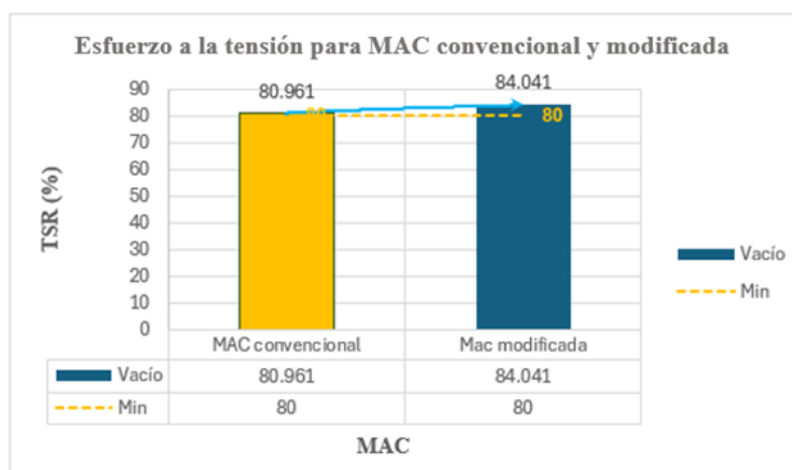
Gráfico 32 Esfuerzo a la tensión Grupo Húmedo para MAC convencional y modificada



De la gráfica, se muestran los valores del esfuerzo a la tensión del grupo húmedo que fueron debidamente acondicionados a ciclos de congelamiento y deshielo según indica la norma, tanto de mezcla convencional como modificada con limadura de acero, siendo esta última la que tiene un mayor valor con 36.01 Kpa comparado a la MAC convencional que tiene 35.0 Kpa.

Por otra parte, a continuación, se presenta los resultados obtenidos en la resistencia al daño causado por humedad (%) para la MAC convencional y para la MAC modificada con un porcentaje de 1.5% de limadura de acero.

Gráfico 33 Relación entre el esfuerzo a la tensión para MAC convencional y modificada



De la gráfica, se puede observar que ambos tipos de mezclas cumplen con la especificación mínima del ensayo que es 80%, además se muestra que el esfuerzo a la tensión de la mezcla modificada con 1.5% de sustitución de acero es mayor que el esfuerzo a la tensión de la mezcla convencional, siendo esto favorable para la mezcla. Esto debido a que al incorporar

limadura de acero se obtiene una mejor adherencia entre el agregado y el asfalto por ende habrá un menor desprendimiento.

Ensayo de tracción indirecta (IDT)

Para este ensayo se estudiaron 16 muestras (briquetas), de las cuales 8 son con mezcla convencional y 8 son de mezcla modificada con limadura de acero. Este ensayo se lleva a cabo siguiendo normas que especifica la MTC-E 522 y la AASHTO T 283. En las tablas que se muestra líneas abajo se presentan los resultados obtenidos al ejecutar dicho ensayo tanto para MAC-convencional, como MAC-modificada respectivamente, que tiene como fin el evaluar la habilidad de la mezcla asfáltica para resistir las cargas de tensión inducidas por las cargas de tráfico.

El siguiente ensayo se realizó a una temperatura de 25°C considerado temperatura ambiente.

Tabla 64 Resultados de Ensayo a Tracción para mezcla convencional

Datos	1	2	3	4	5	6	7	8
Carga máxima (kg)	991.250	1033.200	971.140	995.100	1022.700	1022.350	987.200	1005.980
Altura de briqueta (mm)	65.07	64.78	63.05	65.1	63.6	64.12	65.23	63.51
Diámetro de la muestra (mm)	101.4	101.86	102.63	101.77	101.51	101.54	101.82	101.72
Intensidad IDT (Kpa)	937.92	977.56	936.97	937.71	988.98	980.33	927.96	972.17
PROMEDIO	957.45							

Gráfico 34 Tendencia del ensayo a tracción IDT para MAC convencional

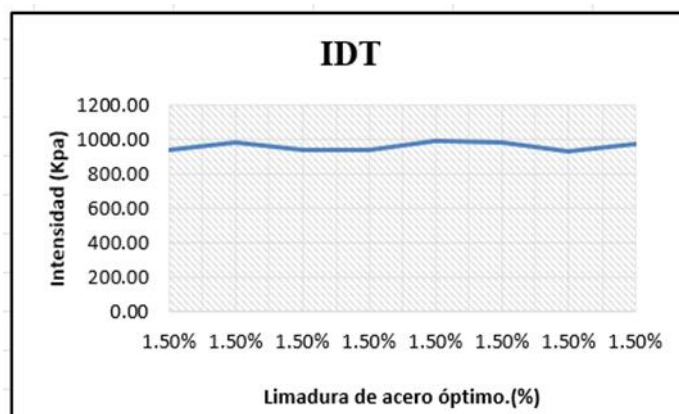


Tabla 65 Resultados de Ensayo a Tracción para MAC modificada

Datos	1	2	3	4	5	6	7	8
Carga máxima (kg)	1051.320	1053.200	988.740	995.110	1052.300	1061.370	1087.650	1058.120
Altura de briqueta (mm)	64.02	64.1	64.5	63.89	64.22	63.77	64.13	63.96
Diámetro de la muestra (mm)	101.74	101.33	101.5	101.62	101.58	101.49	101.61	101.59
Intensidad IDT (Kpa)	1007.70	1012.32	942.89	956.89	1007.08	1023.84	1042.06	1016.67
PROMEDIO	1001.18							

Gráfico 35 Tendencia del ensayo a tracción IDT para MAC modificada

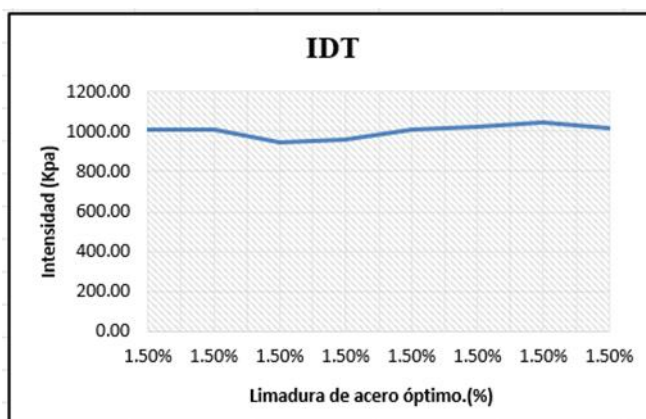
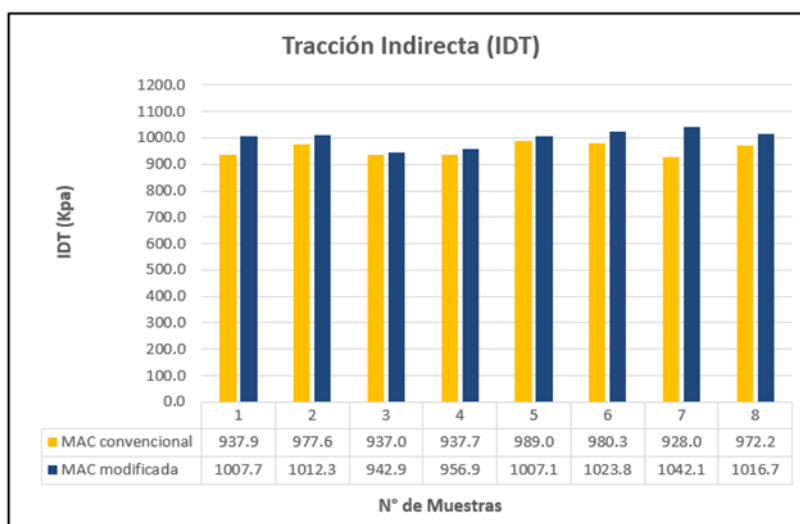


Ilustración 43 Tendencia del ensayo a tracción IDT para MAC modificada



Basándose en los datos obtenidos durante esta prueba, se analiza que la MAC convencional tiene una menor resistencia a la tracción indirecta con un valor de 957.45Kpa en comparación a la mezcla modificada con limadura de acero que tiene 1001.18Kpa. Así mismo, en la

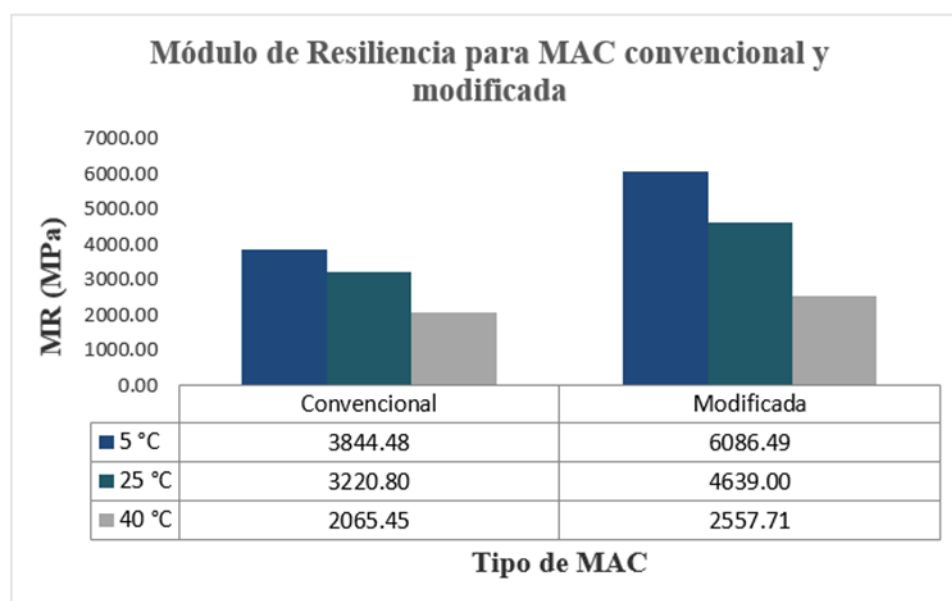
modificadas observa que en las 8 muestras la MAC modificada supera en % de resistencia a la tracción a la MAC-convencional. Por lo que se refleja en los resultados la efectividad de la sustitución del acero en un diseño de mezcla, la relevancia de esta prueba se basa en la capacidad de la mezcla a resistir las fuerzas producidas por el tránsito, con el fin de prevenir futuras deformaciones permanentes en carreteras.

Ensayo de módulo de resiliencia

Tabla 66 Resultados Módulo de resiliencia para MAC convencional y modificada

Tipo de MAC	FRECUENCIA DE ENSAYO		10 HZ		
	TEMPERATURA DE ENSAYO		5 °C	25 °C	40 °C
	Especimen		1	1	1
Convencional	Carga (N)	P	4031.91	3796.47	2923.38
	Módulo de resiliencia (MPa) T	E _{RT}	3844.48	3220.80	2065.45
Modificada	Carga (N)	P	4110.39	3835.71	3031.29
	Módulo de resiliencia (MPa) T	E _{RT}	6086.49	4639.00	2557.71

Gráfico 36 Módulo de resiliencia a diferentes temperaturas



En la gráfico mostrado, se puede observar que tanto las muestras convencionales como modificadas a medida que hay un incremento de temperatura se genera un decremento en los valores de módulo de resiliencia, ya que para la MAC convencional evaluada a 5°C el módulo de resiliencia tiene un valor 3844.48 Mpa, resultando ser mayor que al ser evaluado a 25°C donde su valor resulta 3220.80 Mpa, de igual manera sucede con las mezclas modificadas que pasaron de tener un valor de 6086 MPa a una temperatura de 5°C a tener 4639.0 MPa evaluado a T° de 25°C. Según esto se justifica porque a temperaturas más bajas, el asfalto

tiende a comportarse de manera más elástica (rígida), mientras que a temperaturas más altas, exhibe un comportamiento más viscoso (fluido) [33].

Evaluación económica

Para evaluar los costos unitarios de los materiales nos apoyamos de algunas revistas de carreteras y proyectos de pavimentos, y cotizaciones para extraer precios y así determinar costos por m² (de acuerdo con la norma de metrados) que es la manera en cómo se evalúa para pavimentos. Asimismo, se determinará el costo de materiales para 1 metro cúbico de ambas mezclas del muestreo (aporte unitario), las cuales se muestran a continuación:

Tabla 67 Costo de materiales para 1 m³ de mezcla asfáltica patrón

DETALLE	ASFALTO PEN 60/70	PIEDRA CHANCADA 1/2"	ARENA GRUESA	CEMENTO PORTLAND T1	TOTAL
UNIDAD	gal	m ³	m ³	Bls	755.75
CANTIDAD	35.11	0.364	0.486	0.538	
COSTO UNITARIO	20.00	54.237	41.525	25.42372881	
SUB TOTAL	702.15	19.73	20.19	13.68	

Tabla 68 Costos de materiales por m³ para MAC modificada

DETALLE	ASFALTO PEN 60/70	PIEDRA CHANCADA	ARENA GRUESA	LIMADURA DE ACERO	CEMENTO PORTLAND	TOTAL
UNIDAD	gal	m ³	m ³	Kg	Bls	763.62
CANTIDAD	34.88	0.361	0.47	7.91	0.53	
COSTO UNITARIO	20.00	54.24	41.53	1.69	25.42	
SUBTOTAL	697.55	19.60	19.51	13.37	13.59	

Para la evaluación económica del proyecto, se ha estructurado el análisis de los costos unitarios de la mezcla asfáltica considerando tres componentes principales: mano de obra, materiales y equipos.

En primer lugar, en el costo de mano de obra se consideró de acuerdo con la base legal vigente, la cual surge del convenio suscrito entre la Cámara Peruana de la Construcción y la Federación de Trabajadores en Construcción Civil del Perú. Este convenio establece las condiciones salariales y laborales aplicables, que han sido utilizadas para determinar los costos correspondientes a la ejecución de 1 m² de mezcla asfáltica, conforme a los rendimientos técnicos por actividad. En este cálculo es importante aclarar que se ha

considerado bonificación por trabajo en altas temperatura en infraestructura vial (mezcla asfáltica). Esta bonificación forma parte del P.U de mano de obra y responde a lo establecido en la normativa laboral vigente, reconociendo las condiciones exigentes a las que se expone el personal durante la aplicación del asfalto caliente en obra. Su inclusión garantiza una estimación más precisa y justa de los costos reales de un proyecto.

En segundo término, se han considerado los materiales, entre los cuales se incluyen piedra, arena, asfalto, escoba, cemento y limadura de acero. Todos estos insumos han sido cotizados bajo la modalidad de “material puesto en obra”, es decir, con el transporte incluido hasta el lugar de ejecución. Por lo tanto, no ha sido necesario realizar el cálculo adicional por concepto de flete terrestre.

Como resultado del análisis integral, se ha determinado que el P.U de la MAC convencional asciende a S/ 68.04 por m², mientras que el de la mezcla modificada es de S/ 72.28 por m². Esta diferencia responde principalmente al mayor costo de los materiales empleados en la mezcla modificada.

Tabla 69 Calculo de costo de mano de obra

COSTO DE MANO DE OBRA EN CONSTRUCCIÓN CIVIL DEL PERU, VIGENTE PERIODO 2024-2025												
BASE LEGAL: Convenio suscrito por la Federación de Trabajadores en Construcción Civil del Perú (FTCCP) y la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO).												
DESCRIPCION	CONDICIÓN	FACTOR	CATEGORÍA									CONVENIO (AÑO)
			PEON	OFICIAL	OPERARIO	OPERADOR DE EQUIPO MEDIANO	OPERARIO TOPOGRAFO	OPERADOR DE EQUIPO PESADO	OPERARIO ELECTRO MECÁNICO	SOLDADOR HOMOLOGADO 6G		
REMUNERACIÓN BÁSICA VIGENTE (JORNAL POR 8 HORAS)	RB		61.30	68.10	86.80	86.80	86.80	86.80	86.80	86.80	86.80	2024
BONIFICACIÓN UNIFICADA DE CONSTRUCCIÓN	BUC		30 %RB 18.39	30 %RB 20.43	32 %RB 27.78	32 %RB 27.78	32 %RB 27.78	32 %RB 27.78	32 %RB 27.78	32 %RB 27.78	32 %RB 27.78	2012
BONIFICACIÓN POR ALTA ESPECIALIZACION	BAE					8 %RB 6.94	9 %RB 7.81	10 %RB 8.68	22 %RB 19.10	25 %RB 21.70		2024
LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE LA RB	112.98%		69.26	76.94	98.07	98.07	98.07	98.07	98.07	98.07	98.07	
LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE EL BUC Y BAE	12.00%		2.21	2.45	3.33	4.17	4.27	4.37	5.62	5.94		
BONIFICACIÓN POR MOVILIDAD ACUMULADA (6 PASAJES URBANOS / DÍA)	Pasaje S/ 8.60		8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	8.60	2024
PÓLIZA DE SEGURO ESSALUD + VIDA	S/ 5.00 / mes		0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	2014
BONIFICACION POR ALTITUD SOBRE LOS 3000 MSNM	S/ 2.50 / día	NO										2019
DOS OVEROLES TIPO ESTÁNDAR ANUALES (SI ES MENOR POR OBRA)	Un overol=S/ 80.00	NO	6									2006
BONIFICACION POR TRABAJO EN ALTURA POR CADA 4 PISOS O 10 M	7% RB	NO	12 %									2012
BONIFICACION POR RIESGO DE TRABAJO BAJO LA COTA CERO	S/ 1.90 / día	NO	8 %									2013
BONIFICACION POR CONTACTO CON EL AGUA Y AGUAS SERVIDAS	20% RB	NO	13 %									2007
BONIFICACION POR TRABAJO NOCTURNO (11 PM A 6 AM)	25% RB	NO	40 %									2015
BONIFICACIÓN POR TRABAJO EN ALTAS TEMPERATURAS EN INFRAESTRUCTURA VIAL (MEZCLA ASFÁLTICA)	S/ 3.50 / día	SI	10 %	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	2015
TOTAL JORNAL			160.30	177.06	225.12	232.90	233.87	234.84	246.50	249.43		
COSTO HORA HOMBRE (HH) S/			20.04	22.13	28.14	29.11	29.23	29.35	30.81	31.18		

Tabla 70 Costos unitarios por m2 para MAC convencional

CARPETA ASFALTICA E=3"						
Rendimiento	2050	m2/día			Mano de obra:	0.92
Jornada	8	Horas/día			Materiales:	57.64
					Equipos:	9.48
Costo unitario por m2						68.04
DESCRIPCIÓN	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	TOTAL
MANO DE OBRA						
Operario	hh	1.0000	0.0039	28.14	0.11	0.92
Oficial	hh	3.0000	0.0117	22.13	0.26	
Peon	hh	7.0000	0.0273	20.04	0.55	
MATERIALES						
ASFALTO PEN 60/70	gal		2.6752	20.00	53.50	57.64
PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		0.0277	54.24	1.50	
ARENA GRUESA	m3		0.0370	41.53	1.54	
CEMENTO PORTLAND T1	Bls		0.0410	25.42	1.04	
ESCOBA	Und		0.0050	12.71	0.06	
EQUIPOS						
Herramientas Manuales	%mo		3	0.92	0.03	9.48
Pavimentadora	hm	1.0000	0.0039	320.00	1.25	
Rodillo neumatico	hm	1.0000	0.0039	220.00	0.86	
Rodillo tanden	hm	1.0000	0.0039	220.00	0.86	
Cargador frontal	hm	1.0000	0.0039	220.00	0.86	
Volquete de 15 m3	hm	4.0000	0.0156	160.00	2.50	
Planta de asfalto	hm	1.0000	0.0039	800.00	3.12	

Tabla 71 Costos unitarios por m2 para MAC modificada

CARPETA ASFALTICA MODIFICADA E=3"						
Rendimiento	2050	m2/día			Mano de obra:	0.92
Jornada	8	Horas/día			Materiales:	61.88
					Equipos:	9.48
Costo unitario por m2						72.28
RECURSO	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	TOTAL
MANO DE OBRA						
Operario	hh		1	0.0039	28.14	0.11
Oficial	hh		3	0.0117	22.13	0.26
Peon	hh		7	0.0273	20.04	0.55
MATERIALES						
ASFALTO PEN 60/70	gal		2.6577	20.00	53.15	61.88
PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		0.0275	54.24	1.49	
ARENA GRUESA	m3		0.0358	41.53	1.49	
LIMADURA DE ACERO	Kg		2.7518	1.69	4.65	
CEMENTO PORTLAND T1	Bls		0.0407	25.42	1.04	
ESCOBA	Und		0.0050	12.71	0.06	
EQUIPOS						
Herramientas Manuales	%mo		3	0.92	0.03	9.48
Pavimentadora	hm	1	0.0039	320.00	1.25	
Rodillo neumatico	hm	1	0.0039	220.00	0.86	
Rodillo tanden	hm	1	0.0039	220.00	0.86	
Cargador frontal	hm	1	0.0039	220.00	0.86	
Volquete de 15 m3	hm	4	0.0156	160.00	2.50	
Planta de asfalto	hm	1	0.0039	800.00	3.12	

Tabla 72 Porcentaje de incidencia en costos por m2 de mezcla

LA INCIDENCIA	
PATRON	68.04
MODIFICADO	72.28
INCREMENTO=	$\frac{\text{MODIFICADO}-\text{PATRON}}{\text{MODIFICADO}} * 100$
INCREMENTO=	5.87 %

Discusión

Dosificación óptima de limadura

Para el objetivo de determinar la dosificación óptima de limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica, nos apoyamos en el ensayo Marshall, ya que este al indicar los límites de estabilidad y flujo óptimos en una mezcla asfáltica nos permiten a la vez determinar la proporción óptima de agregados y cemento asfáltico [52]. Por esta razón, en la presente investigación se ensayó 48 briquetas de las cuales 12 fueron muestras convencionales y para las mezclas modificadas se planteó la sustitución de limadura de acero por una fracción del agregado fino a 0.75%, 1.5% y 3%. Estas mezclas se dividieron en 3 subgrupos de 12 muestras cada uno, de las cuales al realizar la prueba Marshall se determinó que el porcentaje adecuado u óptimo de limadura de acero es 1.5%, pues cumple con las especificaciones de la norma ASTM d 1559 [53], obteniendo valores como 1298.65kg para estabilidad y 14 (0.25mm) para flujo, estos parámetros según indican la norma permiten a la mezcla tener un mejor comportamiento ante cargas de tráfico. Si bien la MAC a 0.75% de sustitución de acero también cumple con el rango establecido para estabilidad y flujo con 1229.55 kg y 13.73 (0.25mm) respectivamente, resulta tener una estabilidad menor que la MAC a 1.5% Ac. Por otra parte, la MAC de 3% Ac. presenta la mejor estabilidad con un valor de 1836.95 kg, pero su flujo de 16.93 (0.25mm) es muy alto para los parámetros establecidos (14% máximo), cabe resaltar que un valor de flujo alto indica que la mezcla es más susceptible a deformarse bajo carga [53]. La ASTM 1559 recomienda tener un equilibrio entre los parámetros de flujo y estabilidad, siguiendo esta línea se determinó que el porcentaje de 1.5% de acero con 5.61% de PEN puede asegurar el buen rendimiento de la mezcla. Iberico V. P, en su investigación de diseño óptimo de mezcla asfáltica adicionando fibra extraída de acero en porcentajes de 0%; 5%; 10% y 12%, determinó un óptimo contenido de C.A. de 5.5% y un 5% en cuanto a fibra de acero, obteniendo una estabilidad de 0.58% en mejora de la mezcla convencional y un 2.85% de mejora en el flujo respecto a la mezcla convencional [25].

Con el fin de hacer una comparación con lo que propone Iberico en su investigación, en la Tabla 46 se observa que la estabilidad de la MAC con 1.5% de limadura de acero y 5.5% de C.A. supera en 7.62% respecto a la MAC-Patrón. Y en cuanto al flujo según lo que indica la Tabla 47 el porcentaje se mantiene, es decir solo existe una mejora en la estabilidad. Por otro lado, si se hace una comparación con el %C.A. óptimo (5.61%) que resultó para MAC convencional y para 1.5% de limadura de acero, la estabilidad modificada tiene 10.46% de

mejora respecto a la MAC tradicional y en cuanto al flujo hay una mejora de 1.74% respecto a la MAC sin sustitución de limadura de acero.

Propiedades mecánicas de una MAC

Para el objetivo de evaluar la influencia de la sustitución de limadura de acero en las propiedades mecánicas de una MAC, se comparó la mezcla modificada respecto a la convencional en ensayos como:

Estabilidad y flujo:

En el parámetro de estabilidad se obtiene la tendencia de que a mayor porcentaje de limadura de acero se reemplace en la mezcla, mayor será la estabilidad, alcanzando el valor máximo para una MAC al 3% de limadura de acero, cumpliendo con lo que indica la ASTM d1559 [53], y en cuanto al flujo obtenido con este porcentaje resulta que sobrepasa el límite máximo de 14(0.25mm). Sin embargo para la sustitución de 1.5% de limadura de acero al 5.61% de C.A, si cumple con la estabilidad y flujo cuyos límites son 815kg como mínimo y 14(0.25mm) como máximo respectivamente, esto debido a que se obtuvieron valores de 1268.95kg y 14(0.25mm) para estabilidad y flujo que al compararlos con la MAC convencional de valores como 1175.67 kg y 13.67(0.25mm) resultan ser mayores. La investigación [26], sigue la misma tendencia de a mayor incorporación de residuo de acero mayor será la estabilidad, ya que al 3% de escoria siderúrgica en la mezcla, la estabilidad aumenta de 1149.3 kg para MAC convencional a 1149.8 kg para MAC modificada, con respecto al flujo este es el mismo para ambas mezclas. Al aumentar el porcentaje a 10% de escoria siderúrgica la estabilidad tiene una mayor mejora de 2.79% respecto a la MAC patrón y en el flujo hay un incremento de 1.1mm.

Esta optimización de estabilidad y flujo resulta baja con respecto al 1.5% de limadura de acero como agregado fino que propone esta investigación, ya que se mejora la estabilidad de la MAC modificada con 1305.18kg y el flujo con 14 (0.25mm) que supera la estabilidad de 1175.7 kg de la MAC convencional y a su flujo de 13.8(0.25mm), por tanto hubo una mejora de 10.45% en cuanto a la estabilidad y en cuanto al flujo se tiene una mejora de 1.74%, siendo esta optimización más alta en comparación a la incorporación de escoria de siderúrgica.

Humedad Inducida -Lottman

El estudio [27], obtuvo resultados favorables con respecto a la resistencia a la compresión, ya que aumentó en un 22,46; 46,39 y 37,17% con la adición de 0,5, 1 y 1,5% de fibras de acero esto para estado seco y para estado húmedo también se obtuvo una mejora en la resistencia de 28,04; 71,96 y 52,03% para el mismo contenido de fibras de acero, es decir en todas las muestras se obtuvo una mejora demostrando que la presencia de aditivos puede fortalecer la unión entre los agregados. Esta misma línea sigue la evaluación por humedad inducida a muestras con 1.5% de limadura de acero en el que se logró una mejora de 6.7% respecto a la mezcla convencional en estado seco y para estado húmedo hubo una mejora de 2.89% con una sustitución de 1.5% de limadura de acero

Tracción Indirecta

En la investigación [28], se obtiene una Tracción Indirecta (IDT) de 1439Kpa para una adición de 0,2% de fibra de basalto, que resulta ser 2 veces en comparación con las muestras de control que tuvo un valor de 644 Kpa, también se identificó los valores de IDT disminuyeron con adiciones superiores al 0,2% de fibra. Por otro lado, la resistencia a la tracción indirecta evaluada a muestra con 1.5% de limadura de acero presenta también una mejora respecto a la mezcla convencional con valores de 1100.18 Kpa y 957.45Kpa respectivamente.

Módulo de Resiliencia

López G.; Gonzales L.; Higuera S. [23], indica que a mayor porcentaje de óxido de hierro mayores son los valores de Módulo de resiliencia, es decir se tiene una mejora en cuanto a la capacidad de recuperación de la mezcla ante cargas repetitivas, esto lo evalúa a una temperatura de 20C°, que es la temperatura de la zona de estudio, obteniendo valores de 3100 MPa para MAC convencional, 3250 MPa para mezcla con 2% y el valor más alto es de 4500 MPa para 10% de óxido de hierro. Estos valores son cercanos a los resultados obtenidos en el presente estudio al evaluarlos a temperatura ambiente de 25C° a muestras de 1.5% de limadura de acero obteniendo una mejora en la capacidad de recuperación referente a la mezcla convencional, ya que se obtuvo valores como 4639MPa para mezcla modificada y 3220.80MPa para mezcla convencional. Así mismo, cabe resaltar que la mayor capacidad de MR se da a bajas temperaturas como es el caso de la T° de 5C° donde se obtuvo un MR de

3844.48 MPa para mezcla patrón y 6086.49 MPa para Mezcla modificada, lo mismo resultó en la investigación [23] alcanzando valores de 10000MPa para 8% y 10% de Óxido de hierro.

Propiedades físicas de una MAC

Con respecto a la evaluación de las propiedades físicas de la MAC modificada, en la presente investigación se desarrolló los ensayos de desgaste, parámetros volumétricos y peso específico.

Desgaste de MAC convencional y MAC modificada 1.5% de acero

Referente a este ensayo hubo una mejora de 21.51% en pérdida de desgaste de la MAC con sustitución al 1.5% de limadura con un valor de 3.39% respecto a la MAC patrón que tuvo 2.79% en estado seco y en cuanto al estado húmedo hubo una mejora de 1.08% respecto a la mezcla patrón. Según [28], al sustituir fibras de basalto al 0,2% con 6.5% de betún se obtiene un menor desgaste de la mezcla, resultando en 18% y en cuanto a la mezcla convencional al 6.5% de betún se obtiene un desgaste de 48%, este valor sobrepasa el máximo de 20%, así mismo, la tendencia de desgaste va en incremento conforme aumenta el contenido de fibra de basalto. Estableciendo una comparación entre ambos estudios se estima que a 0.2% de fibra de basalto se obtiene una mejor optimización de desgaste ya que la diferencia es de 30% en cambio con el 1.5% de limadura de acero se obtuvo 1.89% menos desgaste.

Parámetros volumétricos

En la investigación [23], se determinan parámetros volumétricos obtenidos mediante el ensayo Marshall, donde se analiza la variación de cada parámetro con respecto al porcentaje de óxido de hierro, por ejemplo el porcentaje de vacíos con aire tiene una tendencia de disminución a medida que el porcentaje de hierro aumenta sin embargo, presenta un menor valor que la mezcla convencional, a excepción del 10% cuyo valor es de 5.03% sobrepasando el máximo de 5% establecido. Esto no sucede con la mezcla modificada con limadura de acero a 0.75, 1.5 y 3.0%, ya que aquí el % de vacíos de aire incrementa a medida que aumenta la dosificación, sin embargo, al compararla con la MAC convencional tiene valores menores.

Otro parámetro por analizar es el porcentaje de vacíos con agregado mineral, la cual resulta ser directamente proporcional con el óxido de hierro ya que ambos incrementan, y al compararlo con la mezcla patrón se tiene valores menores, a excepción del 10% donde resulta ser superior en 0.37% [23]. Lo contrario sucede con las mezclas con limadura de acero donde

se tiene una relación indirecta, es decir a medida que hay aumenta la dosificación de limadura disminuye los % de vacíos minerales, aun así, todos superan el mínimo de 14 % establecido, pero ninguna supera en valor a la mezcla convencional que tiene el valor de 16.47% y la que se asemeja a esta es la mezcla con 0.75% de acero que tiene 15.29%, cabe resaltar que es mejor tener bajos % de VAM. es decir que se acerquen al mínimo de la norma (14%) ya que, ofrecen una mejor durabilidad al pavimento y este criterio lo cumple la dosificación de 1.5% de acero.

En cuanto a la variación de VLLA con la dosificación de hierro se cumple con los límites determinados por INVIAS 2013 tanto para MAC convencional como modificada a excepción del 2% de pigmentación de óxido que sobrepasa el límite 80% con un valor de 87.65% [23]. Con respecto al comportamiento de las muestras de limadura de acero en este parámetro se tiene que tanto mezcla modificada como convencional cumplen con el 65% min. y 75% máximo, a excepción de la MAC modificada a 0.75% de acero la cuál presenta un valor de 78.31%, y el valor que más se asemeja a la mezcla convencional es de 1.5% de acero así mismo se muestra una tendencia de que a mayor dosificación de acero menor es el porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

Ensayo Rice o peso específico

En la investigación [29], se incluye fibras de acero a una mezcla bituminosa en proporciones de 2, 4, 6 y 7% con un betún en dos grados G-1 y G-2 donde mediante la prueba Marshall se determina que el betún óptimo es el tipo G-1 a 4% de fibra de acero, para esta mezcla el peso específico resultó de 1.05% para VG-10 y 1.03% para VG-30, ambos pertenecen al G-1; así mismo se tiene un aumento de 1.92% y 1.71% en la densidad de la mezcla modificada en comparación con la MAC convencional, esto influye directamente en el peso específico de la muestra ya que, a mayor densidad habrá mayor peso específico lo que indica una mayor durabilidad en la mezcla y resistencia. Por otra parte, al analizar el peso específico de las muestras con limadura de acero resulta que a mayor dosificación de acero el peso específico aumenta en una baja tendencia de 0.024%, sin embargo, al compararlo con la mezcla convencional resulta ser 0.032% menor, esto determinado a diferentes % C.A, ya que para la mezcla óptima (1.5% de limadura de acero con 5.61% de C.A) se logró un aumento de 0.001% de la MAC modificada (2.483%) respecto a la convencional (2.484%). Este incremento resultó mucho menor que el obtenido en el estudio con fibra de acero, sin embargo, al comparar 2.484% de la MAC con limadura de acero resulta ser mayor que el peso específico de 1.05% de la MAC con fibra de acero.

Comparación económica

En cuanto al objetivo realizar una comparación económica entre la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada, se hizo por metro cuadrado, en el que se observa que la mezcla convencional tiene un costo unitario de S/ 68.04 por m², mientras que la mezcla modificada asciende a S/ 72.28 por m², lo que representa una diferencia de S/ 4.24 por m², equivalente a un incremento del 6.23 % en relación con la mezcla convencional. Esta diferencia se debe principalmente a la incorporación de materiales con propiedades mejoradas en la mezcla modificada, los cuales, si bien elevan el costo inicial, pueden ofrecer una mayor durabilidad y menor requerimiento de mantenimiento a lo largo del tiempo. Si bien este incremento puede parecer moderado, adquiere relevancia en proyectos de gran envergadura, donde la suma total del presupuesto se ve notablemente influenciada por el costo unitario de los insumos. Además, esta diferencia debe analizarse desde una perspectiva técnica, ya que el mayor costo puede justificarse por una mejora en el desempeño estructural del pavimento.

Resistencia al desgaste de la MAC convencional y modificada

En concordancia con el objetivo de evaluar la resistencia al desgaste de la MAC convencional y modificada, fue constatado al realizar el ensayo de Cántabro siguiendo lo que indica la MTC E 515 [41], esta norma tiene por finalidad calcular la pérdida de desgaste empleando una máquina llamada Los Ángeles. De acuerdo con el procedimiento que indica la norma mencionada, se logró obtener un menor desgaste sustituyendo limadura de acero a la mezcla, logrando tener una mejora en reducción de pérdida de desgaste del 21.51% respecto a la MAC patrón en estado seco, ya que el desgaste obtenido para una mezcla tradicional con un 5.61% de C.A. es de 3.39% y para la mezcla con sustitución de acero se tuvo una pérdida de 2.79%, estos valores resultan adecuados al compararlos con los límites máximos que exige la norma (25% máximo). En cuanto al estado húmedo se acudió a la Norma Técnica Española NLT 352 [54], en donde indica el proceso que se deben seguir para ensayar las muestras en condiciones húmedas y poder evaluar su desgaste frente a una mezcla convencional, los resultados obtenidos para este ensayo en cuanto a muestra convencional, se tiene una pérdida de desgaste de 7.39%, y para la muestra con sustitución de 1.5% de limadura de acero se tiene una pérdida de 7.28%, es decir hubo una mejora de 1.51% al reemplazar acero en una mezcla asfáltica. Cabe mencionar que bajo el efecto del agua existe una mayor pérdida de desgaste esto debido a la poca cohesión en condiciones húmedas durante 24 horas a 60C° [55]. La investigación [30] busca mejorar el rendimiento de mezclas bituminosas incorporando fibra

de acero, donde al analizar los resultados del ensayo de desgaste Cántabro resulta que para la mezcla a 0.4, 0.5 y 0.6% de fibra de acero sometido a 300 rpm, se reduce el desgaste con valores de 1.83, 2.2 y 2.35% respectivamente en comparación con la mezcla convencional que presenta 2.45% de desgaste, siendo al 0.4% de fibra de acero la mayor reducción con 0.64% menos desgaste, de igual manera sucede al sustituir limadura de acero al 1.5%, ya que su desgaste es 0.6% menor que el de la mezcla convencional.

Conclusiones

Se determinó que el porcentaje óptimo de sustitución de limadura de acero por agregado fino es del 1.5%, este porcentaje cumple con los parámetros definidos por la norma ASTM D 1559, debido a que logra un equilibrio adecuado entre estabilidad y flujo que es lo que sugiere la norma para garantizar un diseño de mezclas óptimo. Al evaluar esta sustitución de acero con un contenido asfáltico (C.A.) del 5.61% correspondiente al porcentaje óptimo para la mezcla asfáltica convencional con penetración 60/70, se obtuvieron resultados positivos tanto en ensayos mecánicos como físicos. Específicamente, en el parámetro de estabilidad se obtuvo una mejora de 10.46% debido a un incremento de 122.95 kg respecto a la MAC convencional y en cuanto al flujo se alcanzó un incremento del 0.24 (0.25mm), es decir 1.74% de variación en comparación a la mezcla convencional.

Se evaluó las propiedades mecánicas en ensayos como Marshall donde se observó la tendencia que a mayor porcentaje de limadura de acero incrementa la estabilidad de la mezcla, esto para porcentajes de 0.75, 1.5 y 3%, lo que resulta en una mayor resistencia a deformaciones permanentes bajo cargas periódicas, así mismo el flujo también incrementó, sin embargo, al 3% se obtuvo valores de 14.67, 15.33 y 18.33 (0.25mm) para 5.0, 5.5 y 6.0% de C.A. respectivamente, excediendo el límite máximo normado.

Se ensayó la humedad inducida con muestras asfálticas al 1.5% de limadura de acero se determinó una mejora del 6.7% respecto a la mezcla patrón en estado seco, y para estado húmedo se tuvo la misma tendencia de mejora con una optimización de 2.89% frente a mezclas convencionales. Los resultados demuestran que la incorporación de limadura de acero reduce la susceptibilidad de la mezcla asfáltica a efectos adversos producidos al contacto con el agua.

Se logró incrementar en un 14.9% la resistencia de la MAC ante esfuerzos de tensión al incluir 1.5% de limadura de acero, obteniendo 1418.2 MPa más en la resistencia a la tracción en comparación con la MAC convencional, demostrando el impacto positivo de la limadura de acero en la mejora de las características mecánicas del pavimento.

Se comprobó que a temperatura (5 °C) se obtuvo mayor valor de módulo de resiliencia, alcanzando con la mezcla modificada una mejora del 58.31% en la capacidad de resistencia y recuperación ante cargas de tráfico respecto a la mezcla convencional, así mismo con una temperatura de 25 °C y 40 °C se obtiene la mejora de 44.03% y 23.83% respectivamente.

Se evaluó las propiedades físicas de la mezcla mediante, los parámetros volumétricos, como el porcentaje de vacíos de aire donde se obtuvo una relación directa, es decir a mayor porcentaje de limadura se incrementa el porcentaje de vacíos, esto puede generar impactos

tanto positivos como una mejora en el drenaje del pavimento y negativos como una mayor susceptibilidad al daño por humedad.

Se evaluó el porcentaje de vacíos con agregado mineral, resultando una disminución de este parámetro a medida que aumenta la dosificación de limadura de acero, esto puede representar un beneficio para la mezcla ya que al tener bajos % de VAM se obtiene una mejor durabilidad en el pavimento. Así mismo, se observó una tendencia en la que un mayor contenido de acero en la mezcla resulta en un menor porcentaje de vacíos llenos de asfalto, esto indica que, aunque la adición de limadura de acero puede ser beneficiosa, es esencial encontrar la dosificación óptima para mantener las propiedades deseadas en una MAC, por lo que al 1.5% de sustitución se cumple con los rangos establecidos por la ASTM d1559 resultando esta dosificación óptima.

Se determinó el peso específico de los especímenes, donde al incluir 1.5% de limadura de acero en la mezcla no mostró una mejora significativa (0.001%) en comparación con la mezcla convencional, según lo evaluado en el ensayo Rice. Esta mínima diferencia indica que la sustitución de limadura de acero a ese porcentaje no tiene un impacto notable en el peso específico de la mezcla asfáltica.

Se realizó una comparación económica identificando un incremento del 6.23 % por m² en el costo de la mezcla asfáltica al incorporar materiales modificados en lugar de una mezcla convencional. Específicamente, el costo unitario pasó de S/ 68.04 a S/ 72.28 por m². Si bien este aumento puede parecer moderado, llevado a la práctica en la ejecución de una carpeta asfáltica de 3" de espesor en grandes extensiones, representa una diferencia presupuestal considerable. Por tanto, la decisión de uso debe evaluarse en función del rendimiento técnico y la durabilidad esperada frente al incremento de inversión inicial.

Se evaluó que la limadura de acero contribuye en la resistencia al desgaste al presentar una mejorara de 39.28% respecto a las mezclas tradicionales en estado seco y en un 21.51% de mejora en estado húmedo, además el porcentaje de desgaste cumple con los límites establecidos en la MTC E 515 y la NLT 512 que especifican tener un desgaste máximo de 25 % para estado seco con lo cual se cumple puesto que se tiene un desgaste de 3.39% para MAC Patrón y 2.79% para MAC modificada y para estado húmedo se estipula que el desgaste debe ser menor a 45%, parámetro que se ha cumplido, ya que el degaste para MAC convencional y modificada fue de 7.39% y 7.28% respectivamente.

Recomendaciones

Se sugiere considerar la sustitución de 1.5% de limadura de acero por una fracción de la arena ya que, no solo cumple con los requisitos normativos de la ASTM d1559, sino también logra optimizar la calidad de la MAC, especialmente en parámetros como el flujo y estabilidad. Además, se sugiere para futuras investigaciones explorar distintos porcentajes de sustitución de contenido asfáltico con el fin de identificar mejoras adicionales a la mezcla.

Para lograr un equilibrio entre estabilidad y flujo se sugiere realizar una adecuada gradación tanto para agregados como para la adición que se proponga incluir a la mezcla, puesto que un exceso de finos puede generar baja resistencia de la mezcla a cargas aplicadas.

Para evaluar la resistencia a la humedad inducida, se sugiere llevar a cabo pruebas adicionales como ensayo de fatiga para comprender mejor el efecto de la limadura de acero en la resistencia a los daños por humedad.

Referente a la resistencia por tracción indirecta en mezclas asfálticas que incluyen limadura de acero, se sugiere realizar ensayos para todas las proporciones porcentuales de limadura, no limitándose solo a trabajar con la proporción óptima.

Comparar los resultados obtenidos con mezclas convencionales sin limadura de acero a diferentes temperaturas para determinar el efecto específico de este en el módulo de resiliencia.

Continuar con la dosificación del 1.5% de limadura de acero, ya que este porcentaje resulta ser óptimo para mantener un equilibrio adecuado entre los vacíos de aire, los vacíos con agregado mineral y los vacíos llenos de asfalto.

De igual manera se recomienda realizar pruebas adicionales para el análisis de las propiedades físicas de la MAC modificada, como la resistencia al envejecimiento de la mezcla asfáltica.

Tener en cuenta la mayor densidad de la limadura de acero al interpretar los resultados, ya que esto puede influir en el valor máximo teórico de la gravedad específica de la MAC, además se recomienda distribuir uniformemente la limadura y compactar bien con el fin de evitar vacíos.

Se sugiere optar por la mezcla asfáltica modificada en proyectos de gran escala, ya que, si bien presenta un incremento del 6.23% en su costo, mejora notablemente la durabilidad y reduce los costos de reparación a largo plazo. Esta opción podría resultar más beneficiosa en proyectos donde se prioriza la resistencia y la vida útil del pavimento, lo cual puede generar ahorros significativos en mantenimiento y reparaciones futuras.

Para obtener resultados confiables y precisos respecto al ensayo de desgaste de mezclas asfálticas se debe seguir los procedimientos y respetar los parámetros que establecen las normas MTC E 515 para desgaste en estado seco y la NLT 352 para desgaste en estado húmedo. Así mismo, para futuros estudios se recomienda proponer porcentajes mayores a 1.5% de acero como sustitución en mezclas pretendiendo reducir aún más la pérdida de masa por acción abrasiva.

Referencias

- [1] “Importancia de la infraestructura vial para el desarrollo del país,” Diaonia. Accessed: May 25, 2024. [Online]. Available: <https://diaonia.com/importancia-de-la-infraestructura-vial-para-el-desarrollo-del-pais/>
- [2] “Perú a la zaga en infraestructura de transporte entre países de la alianza pacífico,” COMEXPERU - Sociedad de Comercio Exterior del Perú. Accessed: Apr. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.comexperu.org.pe/articulo/peru-a-la-zaga-en-infraestructura-de-transporte-entre-paises-de-la-alianza-del-pacifico>
- [3] S. Reyes, “Casi el 80 % de pistas de Chiclayo se encuentra en mal estado, denunciaron transportistas,” RPP. Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: <https://rpp.pe/peru/lambayeque/casi-el-80-de-pistas-de-chiclayo-se-encuentra-en-mal-estado-denunciaron-transportistas-noticia-1521363>
- [4] Lozano Andrés, Gómez Molina Fausto, Ruge Juan Carlos, Moreno Anselmi Luis Miguel, and Bastidaz Martinez, “Asphalts and modified dense asphalt mixtures with rubber of military boots,” *DYNA*, vol. 87, no. 212, pp. 120–128, 2020.
- [5] Claudio Antonio Ramirez Soto, “Innovaciones en la construcción de puentes y carreteras.” Accessed: May 25, 2024. [Online]. Available: <https://claudioantonioramirezsoto.com/construccion/innovaciones-en-la-construccion-de-puentes-y-carreteras/>
- [6] G. Herrera Suarez, “Evaluación del deterioro del pavimento asfáltico en el tramo Ramal de Aspuzana-Nuevo Progreso mediante la metodología VIZIR en el año 2021,” *USMP*, vol. 26, no. 32, pp. 239–256, Dec. 2021, doi: 10.24265/campus.2021.v26n32.07.
- [7] “Main Causes of Asphalt Deterioration,” DRYCO. Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.dryco.com/causes-of-asphalt-deterioration/>
- [8] Mark Blow, “Understanding pavement distress in asphalt,” *Asphalt magazine*. Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.asphaltmagazine.com/understanding-pavement-distress/>
- [9] “Vías deterioradas: ¿cuáles son las consecuencias para los usuarios?,” *Revista Internacional Construir*. Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: <https://construir.com.pe/vias-deterioradas-cuales-son-las-consecuencias-para-los-usuarios/>
- [10] G.Dondi, F. Mazzotta, CLantieri, F.cuppi, V.Vignali y C. Sangiovanni, “Use of Steel Slag as an Alternative to Aggregate and Filler in Road Pavements,” *MDPI*, vol. 345, no. 2, p. 2, 2021.
- [11] “Gestión medioambiental,” *Aceros Arequipa*. Accessed: May 02, 2025. [Online]. Available: <https://acerosarequipa.com/pe/es/gestion-de-medio-ambiente>
- [12] Z. Shuai, G. Rongxin, Y. Feng, D. Ruzhu, K. Chuiyuan, and L. Junjie, “Analysis of Asphalt Mixtures Modified with Steel Slag Surface Texture Using 3D Scanning Technology,” *MDPI*, vol. 16, no. 8, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/ma16083256>.
- [13] “En SIDEPERU se reciclan más de 400,000 toneladas de chatarra anuales,” *Siderperu*. Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.siderperu.com.pe/node/6438>
- [14] “Juntos construimos un mundo mejor,” *Aceros Arequipa*, 2022. [Online]. Available: <https://investors.acerosarequipa.com/storage/memorias/April2024/YtMaaqqP4mjdrLwpUTb.pdf>
- [15] M. Rodriguez, C.Mora, L.Nacimiento, H.Silva, and J.Olivera, “Viabilidad del uso de altas cantidades de agregados de escoria de acero para mejorar la circularidad y el rendimiento de las mezclas asfálticas,” *MSPI*, 2022.
- [16] J.Choudhary, B.Kumar, and A.Gupta, “Utilización de materiales de desecho sólidos como rellenos alternativos en mezclas asfálticas: una revisión,” *IWWG*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.009>.


- [17] Y.Yue, M.Abdelsalam, D.Luo, A.Khater, J.Musanyufu, and T.Chen, "Evaluation of the Properties of Asphalt Mixes Modified with Diatomite and Lignin Fiber: A Review," vol. 12, no. 3, p. 35, 2019.
- [18] R.Centofante, L.Specht, P.Almeida, and D.P.D.Pinheiro, "Avaliação do comportamento de misturas asfálticas recicladas a quente com inserção de material fresado," *Materia*, vol. 23, no. 3, 2018.
- [19] C.Huaxin, X.Qiunwu, C.Shuanfa, and Z.Zhengqi, "Evaluation and design of fiber-reinforced asphalt mixtures," vol. 30, no. 7, pp. 2595–2603, 2009.
- [20] C. Santelmo, "La demanda mundial de arena y áridos aumentará un 45% de aquí hasta 2060," M&T Expo. Accessed: May 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.mtexpo.com.br/es/2023/08/23/la-demanda-mundial-de-arena-y-aridos-aumentara-un-45-de-aqui-hasta-2060/>
- [21] J. Valqui, "El único país de Sudamérica que produce acero en el mundo: demanda crecerá en construcciones en 2030," *La República*. Accessed: May 25, 2024. [Online]. Available: <https://larepublica.pe/mundo/2024/04/02/el-unico-pais-de-sudamerica-que-produce-acero-en-el-mundo-crecera-demanda-en-construcciones-y-maquinarias-114798>
- [22] K. Liu, D. Dai, C. Fu, W. Li, and S. Li, "Induction heating of asphalt mixtures with waste steel shavings," *TRB*, vol. 234, no. 0, Feb. 2020, Accessed: May 25, 2024. [Online]. Available: <https://trid.trb.org/View/1666015>
- [23] H. Gil López, L. González Vargas, and C. Higuera Sandoval, "Efecto del óxido de hierro en las características mecánicas de la mezcla asfáltica MDC-10," *Ingenio Magno*, vol. 10, no. 1, Art. no. 1, 2019.
- [24] C. Yang *et al.*, "Induction Heating and Cooling Performance of Asphalt Mixture as Recycling Rap and Steel Slag," *MDPI*, vol. 15, no. 19, Art. no. 19, Jan. 2023, doi: 10.3390/su151914268.
- [25] P. Iberico Vigo, "Diseño de mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo marshall adicionando fibra de acero en la ciudad de Yurimaguas – 2019," tesis de investigación, Universidad Cesar Vallejo, Tarapoto-Perú, 2019. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58855>
- [26] L. S. Siclane Smith, "Aplicación de escoria siderúrgica para rehabilitar pavimentos flexibles en el Distrito de La Victoria – Lima 2018," tesis de investigación, Universidad Cesar Vallejo, 2019. Accessed: Jun. 21, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/46148>
- [27] A. Saleem and M. Ismael, "Assessment Resistance Potential to Moisture Damage and Rutting for HMA Mixtures Reinforced by Steel Fibers," *Civ. Eng. J.*, vol. 6, pp. 1726–1738, Sep. 2020, doi: 10.28991/cej-2020-03091578.
- [28] A. Çetín and O. Gokhan, "Performance evaluation of porous asphalt mixtures modified with basalt fiber," *RDLC*, vol. 21, no. 1, pp. 93–104, 2022, doi: 10.7764/RDLC.21.1.93.
- [29] B. Ghubade and S. Giripunje, "Design and Implementation of an Intelligent Wheelchair Controlled by Multifunctional Parameter," *Int. J. Sci. Res. Sci. Eng. Technol.*, pp. 499–503, Jun. 2021, doi: 10.32628/IJSRSET218358.
- [30] N. Jasni *et al.*, "Mechanical Performance of Stone Mastic Asphalt Incorporating Steel Fiber," *IOPSCIENCE*, vol. 712, no. 1, p. 012026, Jan. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/712/1/012026.
- [31] J. G. Zanabria Quispe and E. Salazar Hanco, "Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto líquido fino 'grout' adicionado con limaduras de acero 2%, 5% y 10% en comparación a un concreto líquido patrón convencional - Cusco 2018," Universidad Andina De Cusco, 2019. Accessed: May 02, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.uandina.edu.pe/item/3b214d33-7166-4b56-a20a-9654c0865925>

- [32] *Norma E.060 concreto armado*, Norma E.60, SENCICO-Ministerio de la Vivienda, construcción y saneamiento., 2019. [Online]. Available: <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>
- [33] J. Forero Bernal, J. P. Medina García, and Marinez Torre María José, “Propiedades físicas, reológicas y mecánicas de un cemento asfáltico 80/100 modificado por vía húmeda con adición de corcho,” tesis de investigación, Universidad La Gran Colombia, 2015. [Online]. Available: https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4421/Propiedades_f%C3%ADsicas_reol%C3%B3gicas_mec%C3%A1nicas_cementoasfaltico.pdf
- [34] A. E. B. Estrella, “Método experimental para la obtención de polvo magnético a partir de arenas ferruginosas para el revelado de impresiones papilares latentes,” *Innov. SABER*, vol. 3, no. 3, Art. no. 3, Dec. 2021.
- [35] “Iron metal Filings.” Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.oxfordlabchem.com/product-details.php?id=1453&name=IRON-METAL-FILINGS>
- [36] “Productos que no sabías que son hechos con acero,” Ternium. Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.ternium.com/es/novedades/noticias/acero-en-la-vida-cotidiana--13971595422>
- [37] “La Modificacion del Asfalto.” Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: <https://www.e-asfalto.com/aditivos/aditivos.htm>
- [38] “Escoria de silicio de alta plasticidad.” Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: <https://es.ferro-silicon-alloy.com/silicon-slag/high-plasticity-silicon-slag.html>
- [39] N. Nikolaevna Afanasieva and L. Sanabria Grajales, “Las mezclas asfálticas con aditivo de azufre elemental,” *TRID*, Jun. 1997, Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: <https://trid.trb.org/View/964341>
- [40] T. Ramos Porto *et al.*, “The use of iron oxide in asphalt mixtures to reduce the effects of urban heat islands,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 18, p. e01709, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01709.
- [41] *Manual de ensayo de Materiales*, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú., 2014. [Online]. Available: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- [42] P. Garnica Anguas, H. Delgado Alamilla, J. A. Gómez López, S. Alonso Romero, and H. A. Alarcón Orta, “Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas,” no. 246, p. 67, 2004.
- [43] *Standard Test Method for Determining the Resilient Modulus of Asphalt Mixtures by Indirect Tension Test*, ASTM D7369-20, American Society for Testing and Materials. [Online]. Available: <https://store.astm.org/d7369-20.html>
- [44] *Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Asphalt Mixtures*, ASTM D6931-17, American Society for Testing and Materials. Accessed: May 02, 2025. [Online]. Available: <https://store.astm.org/d6931-17.html>
- [45] *Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometría abierta, mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste*, NLT-362/92, España. [Online]. Available: http://www.carreteros.org/normativa/otros/nlt/pdfs/negras/1992/362_92.pdf
- [46] *Manual de Carreteras*, Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción EG-2013, Ministerio de Transportes y comunicaciones., 2013. [Online]. Available: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n

- % 20-% 20EG-2013% 20-% 20(Versi% C3% B3n% 20Revisada% 20-% 20JULIO% 202013).pdf
- [47] Á. J. Pérez-Otálora and D. M. Polania-Andrade, “Evaluación de las características mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente compactada a diferentes temperaturas,” tesis de investigación, Universidad Católica de Colombia, 2021. Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/8a9fb248-969e-4ace-b9e8-422a57a33fc2>
- [48] S. Minaya Gonsales, *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*, vol. 2. Lima- Perú: ICG. Accessed: May 02, 2025. [Online]. Available: <https://biblioteca.utea.edu.pe/bib/8539>
- [49] R. Perez Veli, “La viruta de acero como sustituto del agregado fino y sus propiedades en el concreto,” tesis de investigación, Universidad Peruana de los Andes, Huancayo- Perú, 2021. [Online]. Available: <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3080>
- [50] L. O. Calva Herrera, “Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente incorporando escorias de acero,” *Infraestructura Vial*, vol. 24, no. 43, pp. 1–10, Mar. 2022, doi: 10.15517/iv.v24i43.48421.
- [51] P. Garnica Anguas, J. A. Gómez López, and J. A. Sesma Martínez, “Mecánica de materiales para pavimentos,” no. 197, 2022.
- [52] “Marshall Test Method: Everything You Need to Know,” Global Gilson. Accessed: May 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.globalgilson.com/blog/asphalt-marshall-test-method>
- [53] *Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente (Metodo Marshall Astm d1559)*, ASTM D1559, American Society for Testing and Materials. Accessed: May 23, 2024. [Online]. Available: <https://store.astm.org/d1559-89.html>
- [54] *Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste*, NLT-352. [Online]. Available: http://www.carreteros.org/normativa/otros/nlt/pdfs/rosas/2000/352_00.pdf
- [55] *Especificaciones de Los Materiales*, INVIAS 2013, Instituto Nacional de Vías., 2013. Accessed: May 25, 2024. [Online]. Available: <https://gerconcesion.co/invias2013/>

Anexos

Anexo 1: Ficha de validación de ensayos laboratorio



USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS

INFORME N° LEM USAT 042-2024-1
 FECHA: 23 de mayo del 2024


VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Silva Cubas Tamara Begonia


TITULO DE LA TESIS: "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino por limadura de acero"

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:


- Caracterización de limadura de acero: Ensayo fisicoquímico (Laboratorio Trujillo)
- Requerimientos para los agregados finos:
 - ✓ Equivalente de arena
 - ✓ Angularidad del agregado fino
 - ✓ Azul de metileno
 - ✓ Índice de plasticidad (Malla N°40)
 - ✓ Durabilidad al sulfato de magnesio
 - ✓ Índice de durabilidad
 - ✓ Índice de plasticidad (Malla N°200)
 - ✓ Sales solubles totales
 - ✓ Absorción
- Requerimientos para agregados gruesos:
 - ✓ Durabilidad (Sulfato de magnesio)
 - ✓ Abrasión Los Ángeles
 - ✓ Adherencia
 - ✓ Índice de durabilidad
 - ✓ Partículas chatas y alargadas
 - ✓ Caras fracturadas
 - ✓ Sales solubles Totales



USAT
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES Y SUELOS
TECNICO DE LABORATORIO



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

- ✓ Absorción
- Ensayo Marshall (estabilidad y flujo)
 - Ensayo de Desgaste – Cantabro
 - Ensayo de humedad inducida- Lottman
 - Ensayo de Tracción Indirecta – IDT
 - Ensayo de Módulo de Resiliencia



Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



Henry
Rivadeneyra
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



Henry Rivadeneyra Oblitas
Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental

Anexo 2: Granulometría del agregado fino

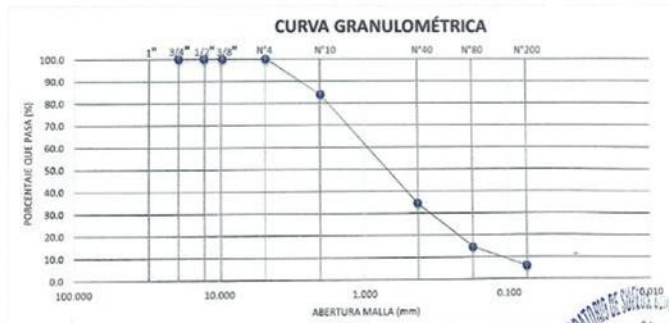


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 Lugar : Chiclayo- Lambayeque
 Fecha de ensayo : 9/09/2023
 ENSAYO : Granulometría del agregado fino
 CANTERA : La Victoria - Pátapo
 NORMA : MTC E 204

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					Proporciones Agregados	
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa	Muestra	2280.00
1"	25.400	-	-	-	100.0	Agregado Grueso.	0.00
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	Agregado Fino.	94.13
1/2"	12.700	-	-	-	100.0	Fino Malla 200.	5.87
3/8"	9.525	-	-	-	100.0		
1/4"	6.350	-	-	-	100.0		
N° 4	4.760	-	-	-	100.0		
N° 6	3.360	-	-	-			
N° 8	2.380	-	-	-			
N° 10	2.000	370.2	16.24	16.2	83.8		
N° 16	1.190	-	-	-			
N° 20	0.840	-	-	16.2	83.8		
N° 30	0.590	-	-	-			
N° 40	0.426	1,126.2	49.4	65.6	34.4		
N° 50	0.297	-	-	-			
N° 80	0.177	450.2	19.7	85.4	14.6		
N° 100	0.149	-	-	-			
N° 200	0.074	199.6	8.8	94.1	5.9		
-200	-	133.6	5.9	100.0			



Henry Rivadeneira Obittas
 Henry Rivadeneira Obittas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 3: Granulometría del agregado grueso

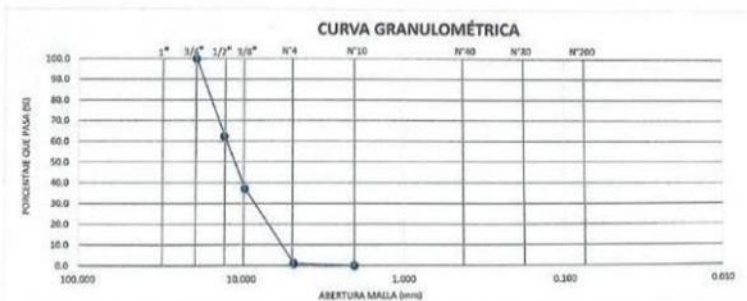


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 Lugar : Chiclayo- Lambayeque
 Fecha de ensayo : 09/09/2023
 ENSAYO : Granulometría del agregado grueso
 CANTERA : Tres Tomas Ferreñafe
 NORMA : MTC E 204

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa	
1"	25.400	-	-	-	-	
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	Calculos.
1/2"	12.700	620.7	36.9	36.9	63.1	Muestra Beca 1,680.0 g
3/8"	9.525	460.5	27.4	64.4	35.6	
1/4"	6.350	-	-	-	-	
N° 4	4.760	540.7	32.2	96.5	3.5	
N° 6	3.360	-	-	-	-	
N° 8	2.380	-	-	-	-	
N° 10	2.000	58.0	3.5	-	0.0	
N°16	1.190	-	-	-	-	
N° 20	0.840	-	-	-	-	
N° 30	0.590	-	-	-	-	
N° 40	0.426	-	-	-	-	
N° 50	0.297	-	-	-	-	Proporciones Agregados.
N° 80	0.177	-	-	-	-	Agregado Grueso. 96.5 %
N° 100	0.149	-	-	-	-	Agregado Fino. 3.5 %
N° 200	0.074	-	-	-	-	Fino Malla 200. 0.0 %
-200	-	-	-	100.0	-	



Henry Ruidenevra Obilias
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TECNICO DE LABORATORIO

Anexo 4: Granulometría combinada

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL, AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27 MAC- CONVENCIONAL

TESIS : "Influencia de la lamadura de acero como sustitución de una fracción de agregado fino".

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pákapo - La Victoria

TESISTA : SEVA CUBAS TAMARA BEGONIA

DATOS DE DISEÑO

Grasa Chancada 1/2"	42%
Grasa Chancada 1/4"	58%

CAMINOS ASPALTICOS PEN 60/70

TAMAÑO MAXIMO : 1/2"

Peso inicial seco : 4000 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PORCENTAJE		RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
		RETENIDO	RETENIDO				
3"	76.200				100.0	MAC - 3	
3/4"	19.000	0.00			100.0	300	
1/2"	12.500	620.70		15.5	84.5	80 100	
3/8"	9.500	460.60	11.5	27.0	73.0	70 88	
Nº 4	4.750	540.70	13.5	40.55	59.5	51 68	
Nº 10	2.000	370.20	9.5	50.0	50.0	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	1126.20	28.9	78.9	21.1	17 28	
Nº 80	0.177	450.20	11.5	90.4	9.6	8 17	
Nº 200	0.075	199.60	5.1	95.5	4.5	4 8	
< Nº 200	FONDO	174.80	4.5	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA

Hay
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT

USAT
Universidad Católica
Laboratorio de Geotecnia, Caminos y Ensayos

USAT
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
TECNOLOGIA DE LABORATORIO

Anexo 5: Granulometría de la limadura de acero

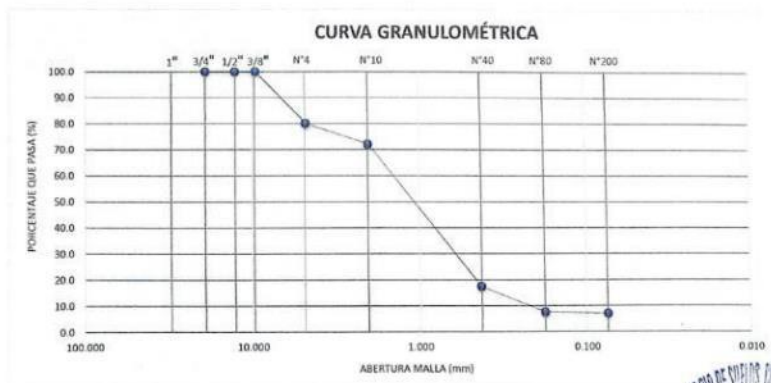


UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente".
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : 09/09/2023
ENSAYO : Granulometria del Limadura de acero
NORMA : MTC E 204

TAMIZ ASTM	ANALISIS GRANULOMÉTRICO					Proporciones Agregados	
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa		
1"	25.400	-	-	-	100.0	Muestra	2500
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	Agregado Grueso.	20.00
1/2"	12.700	-	-	-	100.0	Agregado Fino.	80.00
3/8"	9.525	-	-	-	100.0	% muestra malla N°40	17.43 %
1/4"	6.350	-	-	-	100.0	% muestra malla N°80	7.56 %
N° 4	4.760	500.0	20.00	20.0	80.0	Fino Malla 200.	6.95 %
N° 6	3.360	-	-	-	-		
N° 8	2.380	-	-	-	-		
N° 10	2.000	198.4	7.93	27.9	72.1		
N°16	1.190	-	-	-	-		
N° 20	0.840	-	-	27.9	72.1		
N° 30	0.590	-	-	-	-		
N° 40	0.425	1,365.8	54.6	82.6	17.4		
N° 50	0.297	-	-	-	-		
N° 80	0.177	246.8	9.9	92.4	7.6		
N° 100	0.149	-	-	-	-		
N° 200	0.074	15.2	0.6	93.0	7.0		
-200	-	173.8	7.0	100.0	-		



Henry Rivadeneira Oblitas
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo



Anexo 6: Ensayo físico químico de la limadura de acero

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC: 20605355189



**CERTIFICADO DE CALIDAD
F.Q.A PERU S.A.C**

SOLICITANTE	: SILVA CUBAS TAMARA BEGONIA
TESIS	: Influencia de la Limadura de Acero como remplazo de una Fracción de Agregado Fino en mezcla Asfáltica Caliente
MUESTRA	: Limadura de Acero
PROCEDENCIA	: Lambayeque-Chiclayo
CANTIDAD	: 500 g
PRESENTACION	: BOLSA HERMETICA
FECHA DE INGRESO	: 20 DE SETIEMBRE DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

Propiedades Físico Químicas

Composición:	Carbono	0.28 %
	Manganeso.....	1.62 %
	Fosforo	0.04 %
	Silicio	0.55 %
	Azufre	0.05 %
	Fierro	97.21 %
Color:	Gris oscuro	
Olor	Característico	
Aspecto:	Polvo	
PH:	N.D	
Densidad: kg/L (20°C)	7.868	
Temperatura de Ebullición	2873 °C	
Punto de fusión	1534 °C	
Presión de vapor	1.0 mmHg a 1787 °C	
Solubilidad	Insoluble en agua	

CONCLUSIONES: La muestra es conforme con las especificaciones establecidas del cliente.
TRUJILLO, 26 DE SETIEMBRE DEL 2023


Henry Rivadeneira Obilias
Téc. Laboratorio USAT


CARLOS ALBERTO VIQUEJANDO
INGENIERO QUÍMICO
CIP 122588

TECNICO DE LABORATORIO

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

Anexo 7: Ensayo de absorción del acero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Tesis "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente".
Lugar :Chiclayo-Lambayeque
Fecha de emisión : 20/02/2024
Ensayo : Peso específico y Absorción del acero
Norma : ASTM C-128 ó MTC E 205
Cantera :Patapo-La victoria

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	376.74	376.74
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	153.10	153.10
3.- Peso del Agua	(g)	223.64	223.64
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	151.60	151.60
5.- Peso del Frasco	(g)	103.10	103.10
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	48.50	48.50
7.- Volumen del frasco	(g)	250.00	250.00

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	1.840
-----------------------------	----------------------	-------


Henry Rivas Obilias
Tec. Laboratorio
USAT



Anexo 8: Ficha técnica del cemento asfáltico 60/70

Petróleos del Perú - PETROPERÚ S.A.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ

CLASE DE PRODUCTO		ASFALTO SÓLIDO		Fecha efectiva: Febrero 2024	
TIPO DE PRODUCTO		CEMENTO ASFÁLTICO		Reemplaza edición de: Enero 2019	
NOMBRE DE PRODUCTO					
ASFALTO SÓLIDO 60/70 PEN					
PROPIEDADES	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO DE ENSAYO		
	MÍN.	MÁX.	ASTM	AASHTO	
PENETRACIÓN, a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm	60	70	D-5		T-49
VOLATILIDAD					
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	Reportar		D-70		T-228
Punto de inflamación, Cleveland, copa abierta, °C	232		D-92		T-48
DUCTILIDAD a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-113		T-51
SOLUBILIDAD en tricloroetileno, % masa	99.0		D-2042		T-44
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA					
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:			D-1754		T-179
Pérdida por calentamiento, % masa		0.8			
Penetración retenida, % del original	52+		D-5		T-49
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	50		D-113		T-51
Índice de susceptibilidad térmica	-1.0	+1.0			Francis RLB
FLUIDEZ					
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	Reportar		D-2170		T-201
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	200		D-2170		T-201
Punto de ablandamiento, °C	46		D-36		T-53
REQUERIMIENTO GENERAL:	El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá formar espuma al ser calentado a 175°C.				
OBSERVACIONES:					
(a) En concordancia con a Norma Técnica Peruana NTP 321.051 y con los estándares ASTM D 946 y AASHTO M-20.					



Henry Rivaseneviri
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT

Pág. 1 de 1

Anexo 9: Ensayo Límite Plástico por Malla N°200



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente".
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 6/09/2023
Ensayo : Determinación del límite plástico (I.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.) (I.P.) malla N° 200.
Norma : MTC E 111

Datos de ensayo.	Límite líquido			Límite Plástico	
	L-12	L-5	L-6	W-5	
N° de tarro	35	23	14		
N° de golpes	16.96	18.43	16.87	15.14	
Tarro + suelo húmedo	15.09	16.19	14.75	13.73	
Tarro + suelo seco	1.87	2.24	2.12	1.41	
Agua	7.12	7.36	7.05	7.31	
Peso del tarro	7.97	8.83	7.7	6.42	
Peso del suelo seco	23.46	25.37	27.53	21.96	
Porcentaje de humedad					

CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	24.97
Límite Plástico	21.96
Índice de Plasticidad	3.01



Observaciones:

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 10: Ensayo índice de plasticidad (Malla N°40)



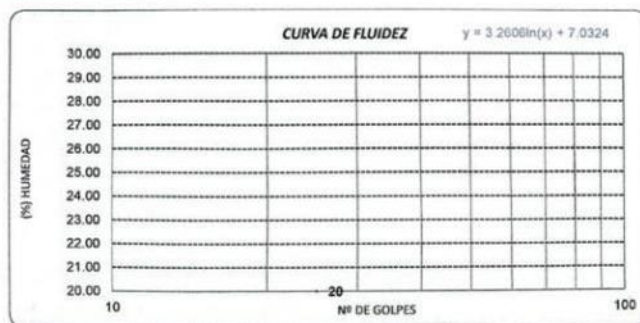
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente".
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 6/09/2023
Ensayo : Determinación del límite plástico (I.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.) malla N° 40.
Norma : MTC E 111

Datos de ensayo	Límite líquido			Límite Plástico	
	R-1	E-10	F-4	L-10	
N° de tarro					
N° de golpes	35	25	15		
Tarro + suelo húmedo	18.07	18.18	17.2	15.14	
Tarro + suelo seco	16.44	16.49	15.87	13.98	
Agua	1.63	1.69	1.33	1.16	
Peso del tarro	7.37	7.41	7.37	7.36	
Peso del suelo seco	9.07	9.08	8.5	6.62	
Porcentaje de humedad	17.97	18.61	15.65	17.52	

CONSISTENCIA FÍSICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	17.52
Límite Plástico	17.52
Índice de Plasticidad	0.00



Observaciones:

El límite plástico resulta mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad es NP (no plástico).



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

Anexo 11: Sales solubles para el agregado fino



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 29/09/2023
Ensayo : Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles
Norma : MTC E 219

<u>Cantera</u>	: Las tres tomas	
<u>Muestra</u>	: Piedra	
Constituyentes de sales solubles totales	ppm	2200
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.22

OBSERVACIONES :

- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : GP 004:1993)


 Henry Rivasdeygra Obilias
 Tec. Laboratorio
 USAT




Anexo 12: Ensayo equivalente de arena



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente".
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 09/09/2023
Ensayo : Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.
Norma : MTC E 114

I.- DATOS

MUESTRA N°	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	N° 4	N° 4	N° 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	5.40	5.10	5.00
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	3.30	3.50	3.20
EQUIVALENTE DE ARENA	61.11 %	68.63 %	64.00 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	65 %		
ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 :			
: 80 % Minimo			


 Henry Obdinas Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT




Anexo 13: Ensayo de absorción y peso específico de agregados finos y gruesos



USAT
Universidad Católica
Santa Toribio de Mogrovejo

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente".

Lugar : Chiclayo-Lambayeque
Fecha de emisión : 11/09/2023
Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino
Norma : ASTM C-128 ó MTC E 205
Cantera : Patapo-La victoria

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	1009.01	1009.20
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	692.95	693.23
3.- Peso del Agua	(g)	316.06	315.97
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	691.06	689.15
5.- Peso del Frasco	(g)	192.95	192.95
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	498.11	496.20
7.- Volumen del frasco	(g)	500.00	500.00

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.70
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.72
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.75
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.38

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-127 ó MTC E 206
Cantera : Tres tomas-Ferreñafe

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	1842	1842
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	1854	1854
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	1565	1568
4.- Peso de la canastilla	(g)	1010	1010
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	502	504

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	1.36
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	1.37
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	1.38
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.65



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



USAT
Laboratorio de Suelos, Concreto y Ensayo de Materiales

Anexo 14: Ensayo de azul de metileno



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIVIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ensayo : 6/10/2023
ENSAYO : Azul de metileno en agregados finos
NORMA : AASTHO TP-57

CANTERA : Patapo-La Victoria MUESTRA M-01 FECHA DE ENSAYO : viernes, 6 de Octubre de 2023
 APLICACIÓN : ASFALTO

MUESTRA	Azul de Metileno Cada	Cantidad de Solución ml NÚMERO	Peso del Material Fino	Resultado	Especificación EG-213	
					Min.	Máx.
AGREGADO FINO - pasa 200	Cada 0.5 ml	8.0	5.0	1.6	-	8
		8.0	5.0	1.6		

RESULTADOS PROMEDIOS : 1.6

FORMULA DE APLICACIÓN

$$AM = C_{sol} / p_{finos}$$

Henry Ripadeneyra Obilias
 Tec. Laboratorio USAT

USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 15: Ensayo partículas chatas y alargadas



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADO
GRUESO
ASTM 4791**

Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 10/10/2023
Ensayo : Determinación del límite plástico (I.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)
Norma : ASTM 4791

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			CHATAS		ALARGADAS	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO	(%)	PESO	(%)
(pulg)	(mm)							
3/4"	19.00			100.00				
1/2"	12.50	1000.0	41.67	58.33	27.79	1.16	45.82	1.91
3/8"	9.50	800.0	33.33	25.00	48.37	2.02	48.3	2.01
1/4"	6.30	600.0	25.00	-	6.2	0.26	45.46	1.89
				TOTAL	82.36	3.43	139.58	5.82

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	(g)	2400.0
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	(%)	9.2

ESPECIFICACIÓN 10% Max.

OBSERVACIONES: El ensayo se realizó con la relación dimensional 1:3


 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



 USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 TECNICO DE LABORATORIO

Anexo 16: Ensayo de durabilidad sulfato de magnesio de agregado fino



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 13/10/2023
Ensayo : Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio
Norma : MTC E 209
Cantera : Pátapo-La Victoria
Muestra : Arena

EXAMEN CUANTITATIVO

I .- DATOS

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
3/8"	Nº 4	2.1
9.5 mm	4.75 mm	
Nº 4	Nº 8	3.8
4.75 mm	2.36 mm	
Nº 8	Nº 16	3.1
2.36 mm	1.18 mm	
Nº 16	Nº 30	2.8
1.18 mm	600 µm	
Nº 30	Nº 50	1.4
600 µm	300 µm	
Nº 50	Nº 100	1.2
300 µm	150 µm	

II .- RESULTADO

DESGASTE TOTAL	(%)	15.3
----------------	-----	-------------

OBSERVACIONES :

- La identificación y procedencia de la muestra fue realizada por el solicitante.
- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.




Henry Ruedeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIVIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 13/10/2023
Ensayo : Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio
Norma : MTC E 209
Cantera : Pátao-La Victoria
Muestra : Arena

Inalterabilidad del agregado fino: Análisis cuantitativo.

Tamaño de los tamices		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
Pasa	Retiene	Gradacion Original (peso)	Gradacion de la Muestra Originales (%)	Peso de las Fracciones comprendido antes del ensayo (g)	Peso Ret. despues del	Pérdida Total (%)	Pérdida Corregida (%)
3/8"	Nº 4	325.12	16.0	100	86.79	13.4	2.1
9.5 mm	4.75 mm						
Nº 4	Nº 8	456.32	22.5	100	83.45	16.8	3.8
4.75 mm	2.36 mm						
Nº 8	Nº 16	399.21	19.7	100	84.67	15.6	3.1
2.36 mm	1.18 mm						
Nº 16	Nº 30	345.65	17.1	100	83.79	16.4	2.8
1.18 mm	600 µm						
Nº 30	Nº 50	205.13	10.1	100	86.4	13.6	1.4
600 µm	300 µm						
Nº 50	Nº 100	178.9	8.8	100	86.52	13.7	1.2
300 µm	150 µm						
Nº 100		116.23	5.7	100	83.3	16.8	1.0
150 µm							
Totales		2026.56	100.0	701.41	594.92		15.3

Observaciones :

- Solución usada : Sulfato de Magnesio (densidad = 1.3025 gr/cm3)

Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



Anexo 17: Ensayo de durabilidad de sulfato de magnesio agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 31/10/2023
Ensayo : Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio
Norma : MTC E 209

EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : las Tres Tomas
Muestra : Piedra chancada

I.- DATOS :

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
2"	1 1/2"	
50 mm	37.5 mm	
1 1/2"	3/4"	
37.5 mm	19 mm	
3/4"	1/2"	12.4
19 mm	12.5 mm	
1/2"	3/8"	2.1
12.5 mm	9.5 mm	
3/8"	Nº 4	0.0
9.5 mm	4.75 mm	

II.- RESULTADO :

DESGASTE TOTAL (%)	14.5
--------------------	------

OBSERVACIONES :

- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.



Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

Anexo 18: Ensayo de resistencia al desgaste de los agregados gruesos



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 09/09/2023
Ensayo : Abrasión los ángeles
Norma : MTC E 207

Cantera: Tres tomas-Ferreñafe
Muestra: 5000 g

I.- Granulometría global

Mallas Pasa	Retiene	Peso retenido	% retenido	Método B
1 1/2"	1"	0.0	0.0	0.0
1"	3/4"	0.0	0.0	0.0
3/4"	1/2"	2500.0	50.0	2500.0
1/2"	3/8"	2500.0	50.0	2500.0
Total		5000.0	100.0	5000 ±10



II.- Ensayo de Abrasión

- Peso inicial antes del ensayo	5000.0
- Peso final después de las 200 revoluciones	4130.0
- Peso final después de las 500 revoluciones	3842.0

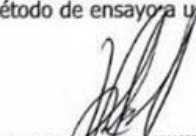
III.- Cálculos


- % de desgaste por abrasión	23.2
- % de uniformidad	0.75

OBSERVACIONES :

NOTA :

- Método de ensayo a usar: Gradación "B", Nº de esferas : 11, Revoluciones : total 500


Henry Rivadeneyra Obilias
Tec. Laboratorio USAT



Anexo 19: Ensayo de sales solubles en agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 29/09/2023
Ensayo : Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles
Norma : MTC E 219

Cantera	: Patapo
Muestra	: Arena
Constituyentes de sales solubles totales	ppm 3900
Constituyentes de sales solubles totales	% 0.39

OBSERVACIONES :

- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI - GP 004 1993)


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



Anexo 20: Ensayo de caras fracturas



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha de ens : 18/11/2023
ENSAYO : Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso
NORMA : MTC E 210

CON UNA CARA FRACTURADA

Tamaño de agregado		A	B	C	D	E
PASA	RETIENE	peso retenido	Peso de caras fracturadas g	$c=(B/A)*100$	$(\%)(\text{pesoA}/st)*100$	$(C*D)/100$
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	670.66	364.34	54.33	69.06	37.52
1/2"	3/8"	300.40	172.32	57.36	30.94	17.75
TOTAL		971.06	536.66	111.69	100.00	55.27

CON 2 O MÁS CARAS FRACTURADAS

Tamaño de agregado		A	B	C	D	E
PASA	RETIENE	peso retenido	Peso de caras fracturadas g	$c=(B/A)*100$	$(\%)(\text{pesoA}/st)*100$	$(C*D)/100$
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	670.66	304.52	45.41	69.06	31.36
1/2"	3/8"	300.40	120.31	40.05	30.94	12.39
TOTAL		971.06	424.83	85.46	100.00	43.75

A	Peso de la muestra
B	Peso del material con caras de fractura
C	Porcentaje de caras fracturadas
D	Porcentaje retenido, Grdación original
E	Promedio de caras fracturadas

RESULTADOS	
CON UNA CARA FRACTURADA	85.24%
CON 2 O MÁS CARAS FRACTURADAS	82.05%



Henry Rivas Obilias
Henry Rivas Obilias
Téc. Laboratorio
USAT



Anexo 21: Diseño de mezclas

Diseño de mezcla convencional



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL, AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27 MAC- CONVENCIONAL

TESIS : "Influencia de la lamadura de acero como sustitución de una fracción de agregado fino".

CANTERA : Tiro Tomas - Ferroñafe
 : Pákapo - La Victoria

TESISTA : SEVA CUBAS TAMARA REGONIA

DATOS DE DISEÑO

Grava Charcada 1/2"	42%
Arena Charcada 1/4"	58%

CEMENTO ASPALTICO FEN 60/70 **TAMAÑO MAXIMO** : 1/2" **Peso inicial seco** : 4000 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	FORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	FORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200				100.0	MAC - 3	
3/4"	19.000	0.00			100.0	100	
1/2"	12.500	620.70	15.5	15.5	84.5	80 - 100	
3/8"	9.500	460.60	11.5	27.0	73.0	70 - 88	
Nº 4	4.750	540.70	13.5	40.55	59.5	51 - 68	
Nº 10	2.000	370.20	9.5	50.0	50.0	38 - 52	Observación:
Nº 40	0.425	1128.20	28.9	78.9	21.1	17 - 28	
Nº 80	0.177	450.20	11.5	90.4	9.6	8 - 17	
Nº 200	0.075	199.60	5.1	95.5	4.5	4 - 8	
< Nº 200	FONDO	174.80	4.5	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA





Henny
Rivadeneira
Oblitas
Téc. Laboratorio
USAT



USAT
LABORATORIO DE ENSAYOS Y CONTROL DE MATERIALES
YECUO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245 - MAC CONVENCIONAL

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como sustitución de una fracción de agregado fino".

LUGAR : Chiclayo- Lambayeque

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : SILVA CUBAS TAMARA BEGONIA

Grava Chancada 1/2"	42%
Arena Chancada 1/4"	58%

Peso de Muestra	1145	
Peso de C.A	54	4.50%
Peso del Cemento	1200	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	2400	

PORCENTAJE	100.00%
------------	---------

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.73
B Arena	58.45	55.82
C Filler	1	5.46

% Que Paso el Tamiz									
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº60	Nº100	Nº200
100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.3	8.6	4.5		
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-26	6-17	4-9		

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	4.5	4.5	4.5
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	38.73	38.73	38.73
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	55.82	55.82	55.82
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% para malla #200)	0.96	0.96	0.96
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.529	2.529	2.529
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.550	2.550	2.550
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.720	2.720	2.720
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.750	2.750	2.750
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	cm. 6.30	6.30	6.40
13	Peso de la briqueta en el aire	gr. 1182.09	1172.40	1183.7
14	Peso de la briqueta saturado superficialmente seco	gr. 1182.60	1173.90	1184.7
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr. 670.4	661.60	668.60
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c. 512.2	512.3	515.1
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.308	2.289	2.298
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.586	2.586	2.586
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/[(2/6)+(3*2/(7+8)+(4*2/(9+10))]	gr/cc. 2.496	2.496	2.496
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 10.76	11.51	11.14
21	Peso específico Bulk del Agregado Total [(100-21)/((3/7)+(4/9)+(5/11))]	gr/cc. 2.618	2.618	2.618
22	Peso específico Aparente del agregado total [(100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))]	gr/cc. 2.691	2.691	2.691
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4) / ((3/P- B)+(4*P-10))	gr/cc. 2.787	2.787	2.787
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 2.37	2.37	2.37
25	% del vol. del Agregado / Volumen líquido de la briqueta (3+4)*17/21	% 83.36	83.49	83.84
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	% 5.88	4.99	5.02
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 16.64	16.51	16.16
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	% 2.23	2.26	2.26
29	Relación betón vacíos (26/27)*100	% 35.33	30.26	31.04
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 1350	1187	1198
31	Factor de estabilidad	1.00	1.00	1.00
32	Estabilidad corregida 31*32	kg 1350	1187	1198
33	Lectura del Flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul. 13	13	12
34	Fluencia	m.m. 3.30	3.30	3.05
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 4088	3595	3930

Honorable
 Presidencia
 Obispa
 Tec. Laboratorio
 USAT

USAT
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
 TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27 MAC. CONVENCIONAL

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como sustitución de una fracción de agregado fino".
 LUGAR : Chiclayo - Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : SILVA CUBAS TAMARA BEGONIA

Grava Chancada 1/2"	42%
Arena Chancada 1/4"	58%

Peso de Muestra	1128
Peso de C.A	60 5.0%
Peso del Cemento	12
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Materia	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.52
B Arena	58.45	55.53
C Filler	1	5.95

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.0	6.5	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	
Especificaciones IVB	

Nº	Descripción	#	1	2	3	Prom.
1	Número de briketa					
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.52	38.52	38.52	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	55.53	55.53	55.53	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.550	2.550	2.550	2.540
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.720	2.720	2.720	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.735
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briketa	cm.	6.036	6.092	6.028	
13	Peso de la briketa en el aire	gr.	1161.82	1183.42	1164.7	
14	Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr.	1163.3	1188.7	1166.1	
15	Peso de la briketa en el agua 25 °C	gr.	669.8	683.5	671.7	
16	Volumen de la briketa 14-15	c.c.	493.5	505.2	494.4	
17	Peso unitario de la briketa 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.354	2.342	2.356	2.351
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.577	2.577	2.577	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/[(2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10)]	gr/cc.	2.478	2.478	2.478	
20	% de vacíos con aire 100*[1-17/18] (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	8.66	9.11	8.59	8.79
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/[(3/7)+(4/9)+(5/11)]	gr/cc.	2.678	2.678	2.678	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/[(3/8)+(4/10)+(5/11)]	gr/cc.	2.691	2.691	2.691	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/[(3/P-8)+(4*P-10)]	gr/cc.	2.801	2.801	2.801	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.68	1.68	1.68	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briketa (3+4)*17/21	%	83.51	83.09	83.57	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa 100-(25+20)	%	7.84	7.80	7.84	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	16.49	16.91	16.43	16.61
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	3.42	3.42	3.42	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	47.51	46.11	47.71	47.11
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1147	1180	1171	
31	Factor de estabilidad		1.09	1.04	1.09	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1250	1227	1276	1251
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	mil.	13	13	13	13.0
34	Fluencia	m.m.	3.30	3.30	3.30	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3786	3717	3866	3789

[Signature]
 Henry Rivas de la Cruz
 Obisitas
 Tec. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE ENSAYOS Y GEOTECNIA
 USAT
 TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27 MAC- CONVENCIONAL

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como sustitución de una fracción de agregado fino".
 LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : SILVA CUBAS TAMARA BEGONIA

Grava Chancada 1/2"	42%
Arena Chancada 1/4"	58%

Peso de Muestra	1122
Peso de C.A	66 5.5%
Peso del Cemento	12
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.32
B Arena	58.45	55.24
C Filler	1	6.44

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.8	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	6-17	4-8	

Mezcla
Especificaciones IVB

#	Descripción	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta				
2	C.A. en peso de la mezcla	5.5	5.5	5.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	38.32	38.32	38.32	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	55.24	55.24	55.24	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% peso malla #200)	0.95	0.95	0.95	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.529	2.529	2.529	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.550	2.550	2.550	2.540
9	Peso específico Bulk de la arena (#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.720	2.720	2.720	
10	Peso específico Aparente de la arena (#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.750	2.750	2.750	2.735
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm. 6.031	6.028	6.045	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr. 1161.59	1166.03	1192.2	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr. 1162.4	1167.2	1193.5	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr. 669.9	679.1	686.6	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c. 492.5	488.1	506.9	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.359	2.389	2.352	2.366
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.483	2.483	2.483	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3/2)+(7+8)+(4*2)/(9+10))	gr/cc. 2.459	2.459	2.459	
20	% de vacíos con aire 100*((1-17)/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 5.03	3.81	5.29	4.71
21	Peso específico Bulk del Agregado Total 100-21/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc. 2.678	2.678	2.678	
22	Peso específico Aparente del agregado total 100-21/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc. 2.691	2.691	2.691	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4) / ((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc. 2.708	2.708	2.708	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/((23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 0.43	0.43	0.43	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	% 83.22	84.29	82.99	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	% 11.75	11.90	11.72	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 16.78	15.71	17.01	16.50
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	% 5.10	5.10	5.10	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	% 70.03	75.77	68.89	71.56
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 1136	1100	1185	
31	Factor de estabilidad	1.09	1.04	1.00	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg 1238	1144	1185	1189
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul. 13	14	14	13.67
34	Fluencia	m.m. 3.30	3.56	3.56	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 3750	3217	3332	3433

Henry Rivadeneira Obitas
 Tec. Laboratorio USAT

USAT
 Universidad Católica del Perú
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27 MAC- CONVENCIONAL

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como sustitución de una fracción de agregado fino".
 LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferrelafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : SILVA CUBAS TAMARA BEGONIA

Grava Chancada 1/2"	42%
Arena Chancada 1/4"	58%

Peso de Muestra	1116
Peso de C.A.	72 6.0%
Peso del Cemento	12
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200

CEMENTO ASFALTICO PER 60/70

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.12
B Arena	58.45	54.94
C Filler	1	6.94

% Que Pasa el Tamiz						
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40
100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17

Mezcla	1
Especificaciones: FVB	

#	1	2	3	Pront.
1	Numero de briquea			
2	C.A. en peso de la mezcla	6.0	6.0	6.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	38.12	38.12	38.12
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	54.94	54.94	54.94
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	0.94	0.94	0.94
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc. 1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.529	2.529	2.529
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc. 2.550	2.550	2.550
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.720	2.720	2.720
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc. 2.750	2.750	2.750
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc. 1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briquea	cm. 6.3	6.2	6.47
13	Peso de la briquea en el aire	gr. 1190.22	1149.44	1190.8
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr. 1191.9	1149.9	1191.4
15	Peso de la briquea en el agua 25 °C	gr. 692.5	667.3	692.6
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c. 499.4	482.6	498.8
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc. 2.383	2.382	2.387
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc. 2.479	2.479	2.479
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/5)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	gr/cc. 2.441	2.441	2.441
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	% 3.87	3.94	3.71
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc. 2.678	2.678	2.678
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc. 2.691	2.691	2.691
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc. 2.727	2.727	2.727
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100*6/(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	% 0.69	0.69	0.69
25	% del vol.del Agregado / Volumen bruto de la briquea (3+4)*17/21	% 83.65	83.60	83.79
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea 100-(25+20)	% 12.48	12.47	12.50
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	% 16.35	16.40	16.21
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	% 5.36	5.36	5.36
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	% 76.31	76.01	77.10
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg 1100	990	1098
31	Factor de estabilidad	1.00	1.09	1.00
32	Estabilidad corregida 31*32	kg 1100	1079	1098
33	Lectura del flexómetro (0.01") (35 / 0.254)	mil. 14	14	14
34	Fluencia	m.m. 3.56	3.56	3.81
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m. 3093	3035	2882

Henry
 Rivas Obitas
 Tec. Laboratorio
 USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041 MAC CONVENCIONAL

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como sustitución de una fracción de agregado fino".
LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : SILVA CUBAS TAMARA BEGONIA

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2725	2699	2677	2650
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2145	2117	2073	2094
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3645.0	3617.0	3573.0	3594.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	580	582	604	605
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.586	2.577	2.483	2.479


Rivadeneyra
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT

LABORATORIO DE ENSAYOS GEOTECNICOS Y CAMINOS
USAT
UNIVERSIDAD CATOLICA
SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TECNICO DE LABORATORIO



INFORME

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
MÉTODO MARSHALL - MAC CONVENCIONAL

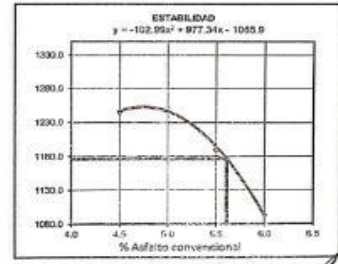
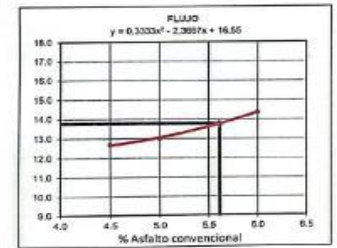
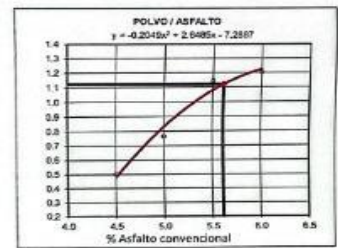
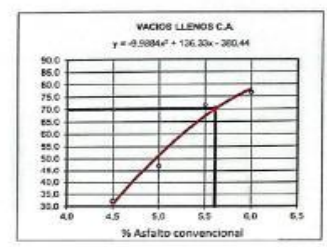
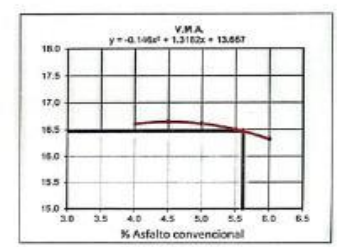
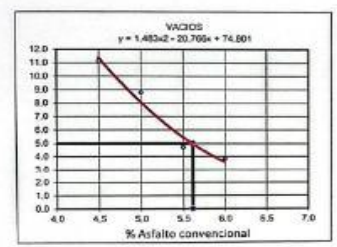
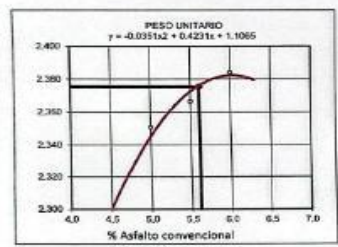
PROYECTO : "Influencia de la limadura de acero como sustitución de una fracción de agregado fino"

CANTERA : La Victoria
 TESISISTA : SILVA CUBAS TAMARA BEGONIA
 UBICACIÓN DE PROYECTO : CHICLAYO-LAMBAYEQUE

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

FECHA DE ENSAYO : 14/10/2020

DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO
CURVAS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CONSTANTE



CARACTERÍSTICAS MARSHALL		
GOLFES	75.0	75
N.C.A	5.51	
P. UNITARIO	2.4	
VACIOS	4.98	3 - 5
V.M.A.	16.5	14.0
V. L.L.C.A.	70.0	85-75
POLVO / ASFALTO	1.1	0.5 - 1.3
FLUJO	13.8	8 - 14
ESTABILIDAD	1175.7	8.15 kN
ESTABILIDAD/FLUJO	3417.0	1700 - 4000

Henry Rivadeneira Obillos
Tsc. Laboratorio USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO



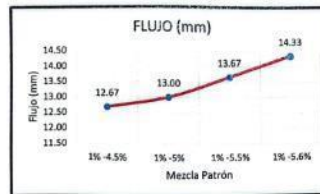
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS VARIANDO EL % DE PEN

DESCRIPCION : "Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla de asfalto".
LUGAR : Chiclayo - Lambayeque
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
TESTISTA : Claudia Pamela Chávez Samané
FECHA : 22-02-24

Relación Pen-Filler	RESULTADOS							
	Peso Unitario (gr/cm ³)	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
1% -4.5%	2.30	11.14	16.43	32.21	12.67	1245.00	0.50	3871.22
1% -5%	2.35	8.79	16.61	47.11	13.00	1251.27	0.76	3789.44
1% -5.5%	2.37	4.71	16.50	71.56	13.67	1189.08	1.14	3433.15
1% -5.6%	2.38	3.84	16.32	76.47	14.33	1092.37	1.20	3003.28



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT



Diseño de mezcla modificada con 0.75% de limadura de acero

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MUGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27 MAC- CONVENCIONAL

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como sustitución de una fracción de agregado fino".

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pilayo - La Victoria

TESISTA : SEVA CUBAS TAMARA BEGONIA

DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 1/2"	82%
Arena Chancada 1/4"	18%

CEMENTO ASPALTICO FEN 60/70

TAMAÑO MAXIMO : 1/2"

Peso inicial seco : 4000 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA CURVA
3"	76.200				100.0	MAC - 2	
3/4"	19.000	0.00			100.0	100	
1/2"	12.500	620.70		15.5	84.5	80 100	
3/8"	9.500	460.60	11.5	27.0	73.0	70 88	
Nº 4	4.750	540.70	13.5	40.55	59.5	51 68	
Nº 10	2.000	370.20	9.5	50.0	50.0	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	1126.20	28.9	78.9	21.1	17 28	
Nº 80	0.177	450.20	11.5	90.4	9.6	8 17	
Nº 200	0.075	199.60	5.1	95.5	4.5	4 8	
< Nº 200	FONDO	174.80	4.5	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA

M. Sc. *Rosalinda Obitas*
Téc. y Laboratorio
USAT

USAT
Laboratorio de Geotecnia, Caminos y Ensayos



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente".
 LUGAR : Chiclayo - Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 Pátao - La Victoria
 TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Filer)	1%
TOTAL	100.00%

Peso de Muestra	1134
Peso de C.A	54 4.50%
Peso del Cemento	12
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.73
B Arena	58.45	55.82
C Filler	1	4.74
D Acero	0.75	0.72

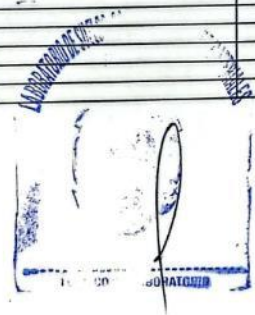
% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200

Mezcla	
Especificaciones IVB	

	100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.5
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

	#	1	2	3	Prom.
1 Número de briqueta					
2 C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.73	38.73	38.73	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	55.07	55.07	55.07	
5 % de filler en peso de mezcla (mínima 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96	
A % de acero	%	0.75	0.75	0.75	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.529	2.529	2.529	
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.550	2.550	2.550	2.540
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.720	2.720	2.720	
10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.750	2.750	2.750	2.735
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.470
B Peso específico de acero	gr/cc	1.84	1.84	1.84	1.840
12 Altura promedio de la briqueta	cm	6.06	6.05	6.03	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr	1210.40	1185.00	1171.7	
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr	1211.50	1186.30	1172.5	
15 Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr	692.9	687.70	678.20	
16 Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	518.6	498.6	494.3	
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.334	2.377	2.370	2.360
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.517	2.517	2.517	
19 Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3/7) + (7/8) + (4/9) + (5/10))$	gr/cc	2.472	2.472	2.472	
20 % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	7.26	5.57	5.82	6.22
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc	2.608	2.608	2.608	
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc	2.712	2.712	2.712	
23 Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc	2.703	2.703	2.703	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.37	1.37	1.37	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	85.46	87.02	86.80	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	7.28	7.41	7.39	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	14.54	12.98	13.20	13.57
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	3.20	3.20	3.20	
29 Relación betón vacíos $(26/27) * 100 \dots$ %PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS DE CA	%	50.04	57.09	55.96	54.37
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1178	1361	1189	
31 Factor de estabilidad		1.00	1.04	1.09	
32 Estabilidad corregida 31*32	kg	1178	1415	1296	1296
33 Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	12	12	11	12
34 Fluencia	m.m.	3.05	3.05	2.79	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3865	4644	4639	4382

Henry Rivasdeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente".
LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Filler)	1%
TOTAL	100%

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Peso de Muestra	1128	
Peso de C.A	60	5.0%
Peso del Cemento	12	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.52
B Arena	58.45	55.53
C Filler	1	5.24
D Acero	0.75	0.71

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200

	100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.5
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

#	1	2	3	Prom.		
1	Número de briqueta	%	5.0	5.0	5.0	
2	C.A. en peso de la mezcla	%	38.52	38.52	38.52	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	54.78	54.78	54.78	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	0.95	0.95	0.95	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.75	0.75	0.75	
A	% de acero	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.550	2.550	2.550	2.540
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.720	2.720	2.720	
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.735
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.84	1.84	1.84	1.840
B	Peso específico de acero	cm.	6.04	6.04	6.04	
12	Altura promedio de la briqueta	gr.	1186.60	1185.20	1166.2	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1187.40	1186.30	1167.3	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	685.4	671.10	676.70	
15	Peso de la briqueta en el agua	c.c.	502.0	515.2	490.6	
16	Volumen de la briqueta 14-15	gr/cc.	2.364	2.300	2.377	2.347
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.492	2.492	2.492	
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.454	2.454	2.454	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	%	5.14	7.67	4.60	5.80
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	gr/cc.	2.608	2.608	2.608	
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $100 - 2 / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.712	2.712	2.712	
22	Peso específico Aparente del agregado total $100 - 2 / ((3/P) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.695	2.695	2.695	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P) + (4/P) + (5/11))$	%	1.27	1.27	1.27	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	86.10	83.79	86.59	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	8.77	8.53	8.82	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	13.90	16.21	13.41	14.51
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	3.81	3.81	3.81	
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	63.06	52.64	65.71	60.47
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$...%PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS DE B.E.A.	kg	1218	1219	1211	
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1.04	1.00	1.09	
31	Factor de estabilidad	kg	1267	1219	1320	1269
32	Estabilidad corregida 31*32	"pul.	14	13	13	13
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	m.m.	3.56	3.30	3.30	
34	Fluencia	m.m.	3562	3692	3998	3750
35	Relación Estabilidad / Fluencia					

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

USAT
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T-245

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente".
 LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Filer)	1%
TOTAL	100%

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Peso de Muestra	1122	
Peso de C.A	66	5.5%
Peso del Cemento	12	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.32
B Arena	58.45	55.24
C Filler	1	5.74
F Acero	0.75	0.71

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200

	100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.5
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

#	1	2	3	Prom.
1 Número de briqueata				
2 C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.32	38.32	38.32
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	54.49	54.49	54.49
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95
A % de acero	%	0.75	0.75	0.75
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.529	2.529	2.529
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.550	2.550	2.550
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.720	2.720	2.720
10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.750	2.750	2.750
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47
B Peso específico de acero	gr/cc.	1.84	1.84	1.84
12 Altura promedio de la briqueata	cm.	6.05	6.04	6.05
13 Peso de la briqueata en el aire	gr.	1184.60	1176.00	1167.9
14 Peso de la briqueata saturada superficialmente seca	gr.	1186.40	1178.40	1171.1
15 Peso de la briqueata en el agua	gr.	683.6	677.90	667.80
16 Volumen de la briqueata 14-15	c.c.	502.8	500.5	503.3
17 Peso unitario de la briqueata 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.356	2.350	2.320
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.435	2.435	2.435
19 Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	gr/cc.	2.436	2.436	2.436
20 % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	3.25	3.51	4.71
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.608	2.608	2.608
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100-21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.712	2.712	2.712
23 Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc.	2.648	2.648	2.648
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21)/(23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.59	0.59	0.59
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueata $(3+4)*17/21$	%	85.37	85.14	84.08
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueata $100-(25+20)$	%	11.39	11.36	11.21
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	14.63	14.86	15.92
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 \cdot (24/100) * (3+4)$	%	4.95	4.95	4.95
29 Relación betón vacíos $(26/27) * 100 \dots \% \text{PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS DE CA}$	%	77.81	76.40	70.44
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1197	1184	1127
31 Factor de estabilidad	kg	1.04	1.04	1.04
32 Estabilidad corregida 31*32	kg	1245	1231	1172
33 Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	15	13	14
34 Fluencia	m.m.	3.81	3.30	3.56
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3267	3729	3296

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente".
 LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Filler)	1%
TOTAL	100%

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Peso de Muestra	1116
Peso de C.A	72 6.0%
Peso del Cemento	12
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.12
B Arena	58.45	54.94
C Filler	1	6.24
D Acero	0.75	0.71

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200


100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.5
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta			
2	C.A. en peso de la mezcla	6.0	6.0	6.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	38.12	38.12	38.12
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	54.19	54.19	54.19
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	0.94	0.94	0.94
A	% de acero	0.75	0.75	0.75
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.529	2.529	2.529
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	2.550	2.550	2.550
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.720	2.720	2.720
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	2.750	2.750	2.750
11	Peso específico aparente del filler	1.47	1.47	1.47
B	Peso específico de acero	1.84	1.84	1.84
12	Altura promedio de la briqueta	6.03	6.04	6.03
13	Peso de la briqueta en el aire	1150.50	1190.70	1181.7
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1154.00	1191.50	1182.8
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	655.4	688.10	681.60
16	Volumen de la briqueta 14-15	498.6	503.4	501.2
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	2.307	2.365	2.358
18	Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	2.385	2.385	2.385
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/5) + (3/2) * ((7+8) + (4 * 2) / (9+10)))$	2.419	2.419	2.419
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	3.24	0.81	1.13
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	2.608	2.608	2.608
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	2.712	2.712	2.712
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	2.606	2.606	2.606
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23-21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	-0.03	-0.03	-0.03
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	83.17	85.25	84.98
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	13.59	13.93	13.89
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	16.83	14.75	15.02
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	6.03	6.03	6.03
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100 \dots$ %PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS DE CA	80.75	94.48	92.46
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	1153	1121	1120
31	Factor de estabilidad	1.04	1.04	1.04
32	Estabilidad corregida 31*32	1199	1166	1165
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	15	14	15
34	Fluencia	3.81	3.56	3.81
35	Relación Estabilidad / Fluencia	3147	3279	3057

Henry Rueda Obliya
 Ing. Laboratorio USAT

USAT
 TECNICO DE LABORATORIO



USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

INFORME

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
MÉTODO MARSHALL MAC-0.75% Ac.**

PROYECTO : Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente.

CANTERA : Tros Tomas - Ferreñafe

TESISTA : La Victoria - Pátapo

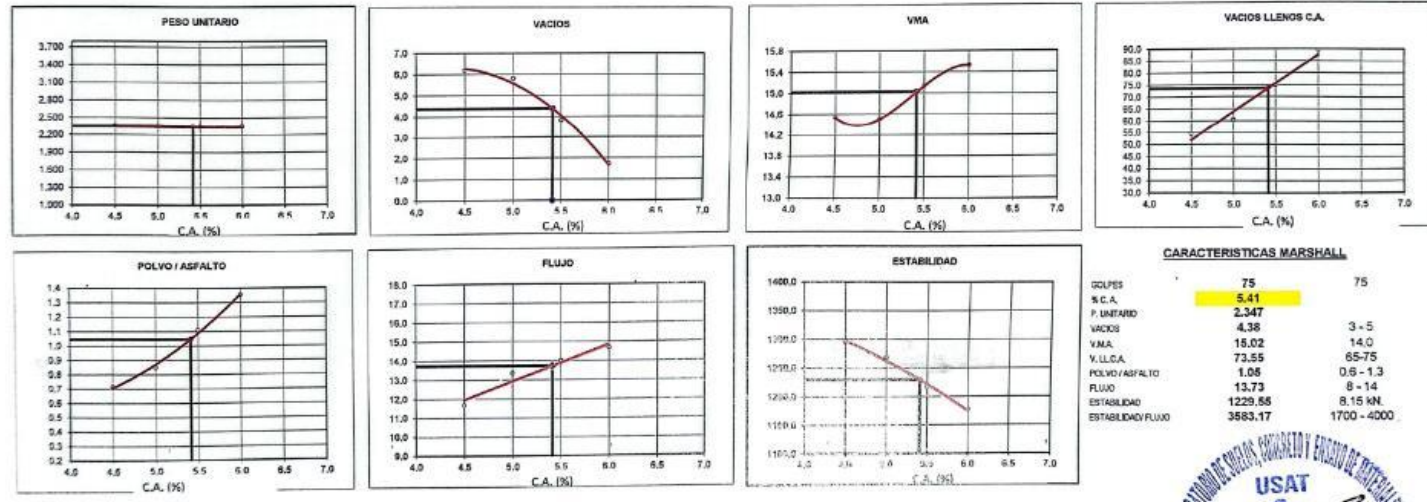
UBICACIÓN DE PROYECTO : Silva Cubas Tamara Begonia

FECHA DE ENSAYO : 15/02/2024

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Descripción : Diseño de Mezcla Marshall para MAC modificada a 0.75% Ac.

**DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO
CURVAS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CONSTANTE**



CARACTERÍSTICAS MARSHALL

GOLPES	75	75
% C.A.	5.41	
P. UNITARIO	2.347	
VACIOS	4.38	3 - 5
V.M.A.	16.02	14.0
V.L.L.C.A.	73.55	65-75
POLVO / ASFALTO	1.06	0.6 - 1.3
FLUJO	13.73	8 - 14
ESTABILIDAD	1229.66	8.15 kN
ESTABILIDAD FLUJO	3683.17	1700 - 4000

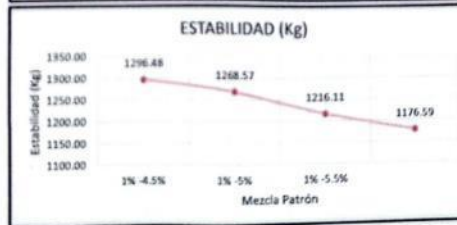
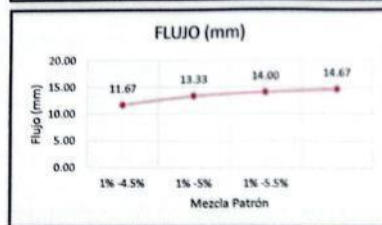
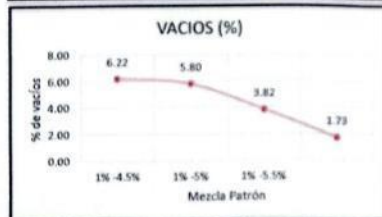
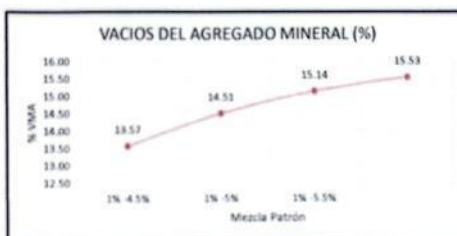




ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS A 0.75 % DE LIMADURA DE ACERO

DESCRIPCION : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
LUGAR : Chiclayo - Lambayeque
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

		RESULTADOS						
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm ²)	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
1% - 4.5%	2.36	6.22	13.57	54.37	11.67	1296.48	1.23	4382.40
1% - 5%	2.35	5.80	14.51	60.47	13.33	1268.57	1.23	3750.48
1% - 5.5%	2.34	3.82	15.14	74.88	14.00	1216.11	1.23	3430.87
1% - 6%	2.34	1.73	15.53	89.23	14.67	1176.59	1.23	3161.01



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE GEOTECNIA Y CAMINOS DE INGENIERIA
 USAT
 TECNICO DE LABORATORIO

Diseño de mezcla modificada con 1.5% de limadura de acero



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL, AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS
 MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27-MAC 1.5% Ac.

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 LUGAR : Chiclayo - Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

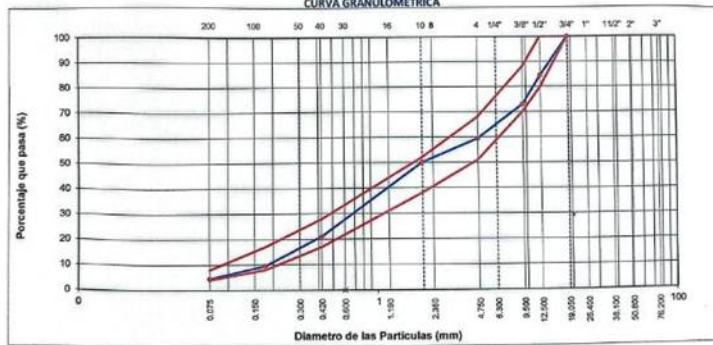
DATOS DE DISEÑO

Grava Chanzada 3/4"	42%
Arena Chanzada 1/4"	57%
Cemento (Fiber)	1%
TOTAL	100%
CEMENTO ASFALTICO PERU/70	

TAMAÑO MAXIMO : 3/2"
 Peso inicial seco : 4000 g

TAMIZ	ASHTO 1-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200				100.0	MAC - 2	
3/4"	19.000	0.00			100.0		
1/2"	12.500	620.70	15.5	15.5	84.5	80	100
3/8"	9.500	400.60	11.5	27.0	73.0	70	88
Nº 4	4.750	540.70	13.5	40.55	59.5	51	68
Nº 10	2.000	370.20	9.3	50.0	50.0	38	52
Nº 40	0.425	1126.20	28.9	78.9	21.1	17	28
Nº 80	0.177	450.20	11.5	90.4	9.6	8	17
Nº 200	0.075	199.60	5.1	95.5	4.5	4	8
< Nº 200	FNDO	174.80	4.5	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA



Henry Rivadeneyra Obilias
 Henry Rivadeneyra Obilias
 Tec. Laboratorio USAT

LA COMISION DE CONTROL Y CALIFICACION DE MATERIAS
 USAT

 TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245 - MAC 1.5% Ac.

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
Pátapo - La Victoria
TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Filer)	1%
	100.00%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1134	
Peso de C.A	54	4.50%
Peso del Cemento	12	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.73
B Arena	58.45	55.82
C Filler	1	4.02
D Acero	1.5	1.43

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200

Mezcla	
Especificaciones IVB	

	100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.5
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueeta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.73	38.73	38.73	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	54.32	54.32	54.32	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96	
A	% de acero	%	1.50	1.50	1.50	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.550	2.550	2.550	2.540
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.720	2.720	2.720	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.735
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
B	Peso específico de acero	gr/cc.	1.84	1.84	1.84	1.840
12	Altura promedio de la briqueeta	cm.	6.06	6.04	6.05	
13	Peso de la briqueeta en el aire	gr.	1208.00	1167.90	1182.1	
14	Peso de la briqueeta saturada superficialmente seca	gr.	1209.90	1171.20	1183.7	
15	Peso de la briqueeta en el agua	gr.	688.4	672.40	681.30	
16	Volumen de la briqueeta 14-15	c.c.	521.5	498.8	502.4	
17	Peso unitario de la briqueeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.316	2.341	2.353	2.337
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.530	2.530	2.530	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/5) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.449	2.449	2.449	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	8.43	7.44	6.98	7.61
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (A/11))$	gr/cc.	2.599	2.599	2.599	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.733	2.733	2.733	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.718	2.718	2.718	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.73	1.73	1.73	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueeta $(3+4) * 17/21$	%	85.12	86.04	86.46	
26	% del volumen de asfalto efectiva / volumen de briqueeta $100 - (25 + 20)$	%	6.45	6.52	6.55	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	14.88	13.96	13.54	14.12
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4+A)$	%	2.87	2.87	2.87	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100 \dots$ %PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS DE CA	%	43.37	46.73	48.42	46.17
30	Estabilidad sin correjir (tabla de calibración del anillo)	kg	1216	1300	1287	
31	Factor de estabilidad	kg	1.00	1.04	1.04	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1216	1352	1338	1302
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	mm	13	12	12	12.3
34	Fluencia	mm/mm	3.30	3.05	3.05	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m/mm	3683	4436	4391	4170

Henry Madeneyra Obitas
Téc. Laboratorio USAT

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245 - MAC 1.5% Ac.

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Filer)	1%
TOTAL	100%

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Peso de Muestra	1128
Peso de C.A	60 5.0%
Peso del Cemento	12
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.52
B Arena	58.45	55.53
C Filler	1	4.53
D Acero	1.5	1.43

% Que Pasa el Tamiz						
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40

100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.5
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

	#	1	2	3	Prom.
1 Número de briqueta					
2 C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.52	38.52	38.52	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	54.03	54.03	54.03	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
A % de acero	%	1.50	1.50	1.50	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.550	2.550	2.550	2.540
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.720	2.720	2.720	
10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.735
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
B Peso específico de acero	gr/cc.	1.84	1.84	1.84	1.840
12 Altura promedio de la briqueta	cm.	6.03	6.04	6.05	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr.	1166.50	1186.00	1209.1	
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1167.10	1188.20	1210.8	
15 Peso de la briqueta en el agua	gr.	671.3	689.70	690.80	
16 Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	495.8	498.5	520	
17 Peso unitario de la briqueta 13/16	gr/cc.	2.353	2.379	2.325	2.352
18 Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.521	2.521	2.521	
19 Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2 / (7+8)) + (4^2 / (9+10)))$	gr/cc.	2.431	2.431	2.431	
20 % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$	%	6.67	5.63	7.77	6.69
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.599	2.599	2.599	
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.734	2.734	2.734	
23 Peso específico efectiva del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.732	2.732	2.732	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.91	1.91	1.91	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	86.01	86.97	85.00	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	7.32	7.40	7.23	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	13.99	13.03	15.00	14.01
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4+A)$	%	3.20	3.20	3.20	
29 Relación betún vacíos $(26/27) * 100$... %PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS DE CA	%	52.30	56.80	48.21	52.44
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1316	1310	1205	
31 Factor de estabilidad	kg	1.09	1.04	1.00	
32 Estabilidad corregida 31*32	kg	1434	1362	1205	1334
33 Lectura del flexímetro (0.01) (35 / 0.254)	mm.	13	14	13	13
34 Fluencia	mm.	3.30	3.56	3.30	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	mm.	4344	3831	3649	3942

Henry Obilias
Téc. Laboratorio
USAT

USAT
TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245 - MAC 1.5% Ac.

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Filer)	1%
TOTAL	100%

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Peso de Muestra	1122	
Peso de C.A	66	5.5%
Peso del Cemento	12	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.32
B Arena	58.45	55.24
C Filler	1	5.03
F Acero	1.5	1.42

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200

	100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.5
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

#	1	2	3	Prom.		
1	Número de briqueata					
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.32	38.32	38.32	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	53.74	53.74	53.74	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
A	% de acero	%	1.50	1.50	1.50	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.550	2.550	2.550	2.540
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.720	2.720	2.720	2.735
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.735
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.470
B	Peso específico de acero	gr/cc.	1.84	1.84	1.84	1.840
12	Altura promedio de la briqueata	cm.	6.03	6.03	6.04	
13	Peso de la briqueata en el aire	gr.	1158.40	1151.70	1180.2	
14	Peso de la briqueata saturada superficialmente seca	gr.	1160.30	1153.80	1182.5	
15	Peso de la briqueata en el agua	gr.	672.8	651.80	688.50	
16	Volumen de la briqueata 14-15	c.c.	487.5	502	494	
17	Peso unitario de la briqueata 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.376	2.294	2.389	2.353
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.459	2.459	2.459	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3 * 2 / (7 + 8)) + (4 * 2 / (9 + 10)))$	gr/cc.	2.414	2.414	2.414	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	3.37	6.70	2.84	4.30
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.599	2.599	2.599	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.734	2.734	2.734	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.678	2.678	2.678	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.16	1.16	1.16	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueata $(3 + 4) * 17/21$	%	86.41	83.43	86.88	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueata $100 - (25 + 20)$	%	10.22	9.87	10.28	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	13.59	16.57	13.12	14.43
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4 + A)$	%	4.41	4.41	4.41	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100 \dots \% \text{PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS DE CA}$	%	75.21	59.55	78.32	71.03
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1133	1220	1225	
31	Factor de estabilidad		1.09	1.04	1.09	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1235	1269	1335	1280
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	15	13	13	14
34	Fluencia	m.m.	3.81	3.30	3.30	
35	Relación Estabilidad / fluencia	m.m.	3241	3843	4044	3709

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T-245 - MAC 1.5% Ac.

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferrefafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Filler)	1%
TOTAL	100%

Peso de Muestra	1116
Peso de C.A	72 6.0%
Peso del Cemento	12
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.12
B Arena	58.45	54.94
C Filler	1	5.53
D Acero	1.5	1.41

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200

100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.5
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

I	Número de briketa	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.12	38.12	38.12	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	53.44	53.44	53.44	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.94	0.94	0.94	
A	% de acero	%	1.50	1.50	1.50	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.529	2.529	2.529	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.550	2.550	2.550	2.540
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.720	2.720	2.720	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.750	2.750	2.750	2.735
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.470
B	Peso específico de acero	gr/cc	1.84	1.84	1.84	1.840
12	Altura promedio de la briketa	cm.	6.03	6.05	6.02	
13	Peso de la briketa en el aire	gr.	1166.20	1184.70	1149.8	
14	Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr.	1167.20	1185.40	1151.5	
15	Peso de la briketa en el agua 25 °C	gr.	669.0	666.70	661.10	
16	Volumen de la briketa 14-15	c.c.	498.2	498.7	490.4	
17	Peso unitario de la briketa 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.341	2.376	2.345	2.354
18	Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.447	2.447	2.447	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/(12/5)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10)	gr/cc.	2.396	2.396	2.396	
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.34	2.92	4.18	3.81
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/(13/7)+(4/9)+(5/11)	gr/cc.	2.598	2.598	2.598	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/(13/8)+(4/10)+(5/11)	gr/cc.	2.734	2.734	2.734	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/(13/8)+(4/10)+(5/11)	gr/cc.	2.686	2.686	2.686	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.28	1.28	1.28	
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briketa (3+4)*17/21	%	84.68	85.94	84.82	
26	% del volumen de asfalto efectiva / volumen de briketa 100-(25+20)	%	10.98	11.15	11.00	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	15.32	14.06	15.18	14.86
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4+A)	%	4.81	4.81	4.81	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100...%PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS DE CA	%	71.68	79.25	72.45	74.46
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1345	1174	1145	
31	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.09	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1399	1221	1248	1289
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	15	16	15	15.3
34	Fluencia	m.m.	3.81	4.06	3.81	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3671	3004	3276	3317



Henry Rivasdeneyra Obilias
 Tec. Laboratorio USAT

TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS




GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
 ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 ENSAYO : RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

PORCENTAJE DE ASFALTO	5.61%
1.- PESO DEL FRASCO	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2538
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1934
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3434.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	604
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.483


 Henry Rivasdeyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo





USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

INFORME

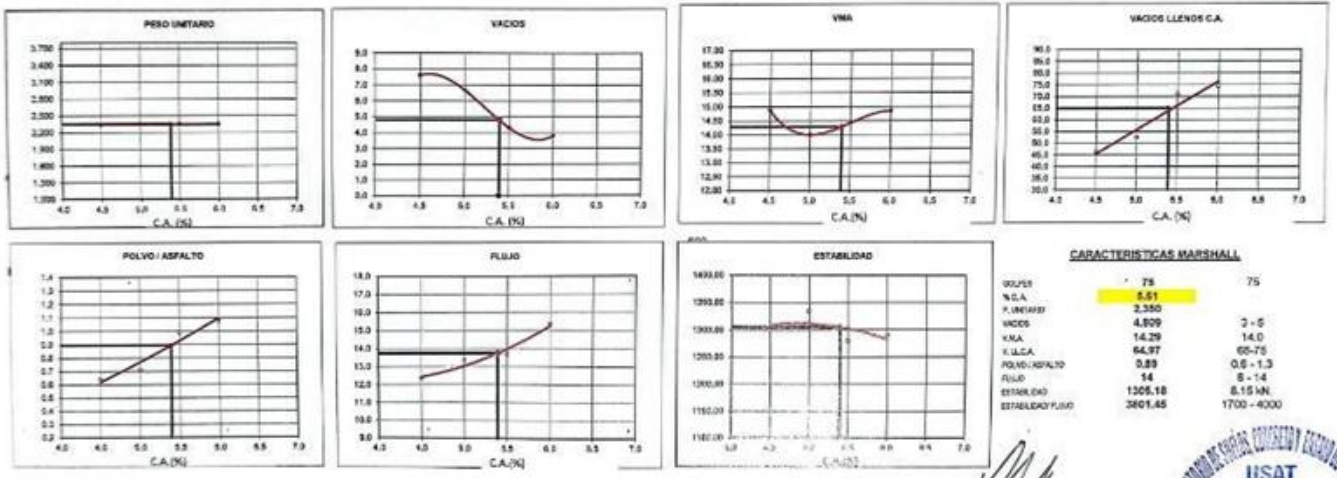
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
MÉTODO MARSHALL - MAC 1.5% Ac.

PROYECTO: Influencia de la linadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente.
 CANTERA: Tres Tomas - Poreñafe
 TERRESTA: Silva Cubes Tamara Begonia
 UBICACIÓN DE PROYECTO: Chiclayo - Lambayeque

FECHA DE ENSAYO: 15/02/2024

Tipo de muestra: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Descripción: Diseño MAC (Asfalto convencional)

DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO
CURVAS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CONSTANTE



Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)(13+4+A)



Henry Roldán Obitas
Tec. Laboratorio
USAT



USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



USAT
LABORATORIO DE ENSAYOS Y CONTROL DE MATERIALES

TECNICO DE LABORATORIO



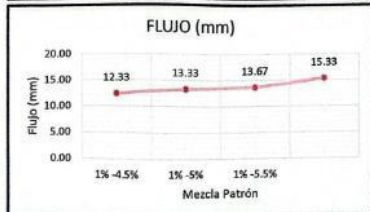
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS VARIANDO EL 1.5% DE LIMADURA DE ACERO

DESCRIPCION : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
 TESISTA : Silva Cubas Tamara

Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm ³)	RESULTADOS						
		Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de CA (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
1% -4.5%	2.34	7.61	14.01	46.17	12.38	1302.16	1.23	4169.88
1% -5%	2.35	6.69	14.01	52.44	13.33	1333.95	1.23	3941.58
1% -5.5%	2.34	4.30	14.43	71.03	13.67	1279.67	1.23	3709.22
1% -6%	2.35	3.81	14.86	74.46	15.33	1289.27	1.23	3317.15



Henry Rivadeneira Oblitas
 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
 USAT
 UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Diseño de mezcla modificada con 3.0% de limadura de acero



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS

MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27 - MAC a 3% de Ac.

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 LUGAR : Chiclayo - Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Santa Victoria - Pátapo
 TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

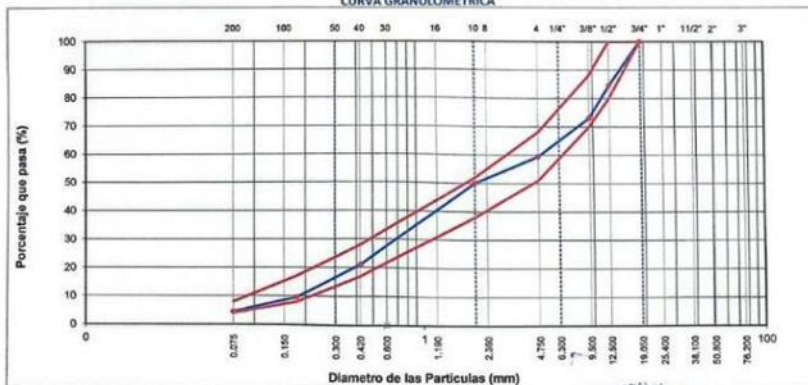
DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Fier)	1%
TOTAL	100%
CEMENTO ASFALTICO POR 60/70	

TAMAÑO MAXIMO : 1/2"
 Peso inicial seco : 4000 g

TAMIZ	AASHTO T 27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	
3/4"	19.000	0.00			100.0	100	
1/2"	12.500	620.70	15.5	15.5	84.5	80 100	
3/8"	9.500	460.60	11.5	27.0	73.0	70 88	
Nº 4	4.750	540.70	13.5	40.55	59.5	51 68	
Nº 10	2.000	370.20	9.5	50.0	50.0	38 52	Observación:
Nº 40	0.425	1126.20	28.9	78.9	21.1	17 28	
Nº 80	0.177	450.20	11.5	90.4	9.6	8 17	
Nº 200	0.075	109.60	5.1	95.5	4.5	4 8	
< Nº 200	FONDO	174.80	4.5	100.0			

CURVA GRANULOMETRICA



[Handwritten Signature]
 Ingeniero
 Ruydeneyra Obilias
 Tec. Laboratorio
 USAT

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
 USAT
 TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245 - MAC a 3% de Ac.

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Santa Victoria - Pátapo
 TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Filler)	1%
TOTAL	100.00%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1134	
Peso de C.A	54	4.50%
Peso del Cemento	12	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.73
B Arena	58.45	55.82
C Filler	1	2.59
D Acero	3	2.87

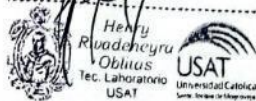
% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200

Mezcla	100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.5
Especificaciones IVB	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briquea	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.73	38.73	38.73	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.82	52.82	52.82	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.96	0.96	0.96	
A	% de acero	%	3.00	3.00	3.00	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.550	2.550	2.550	2.54
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.720	2.720	2.720	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.74
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47
B	Peso específico de acero	gr/cc.	1.84	1.84	1.84	1.84
12	Altura promedio de la briquea	cm.	6.06	6.03	6.05	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1214.40	1149.90	1199.1	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1216.20	1152.60	1202.0	
15	Peso de la briquea en el agua	gr.	691.1	656.40	688.10	
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c.	525.1	496.2	513.9	
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.313	2.317	2.333	2.321
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.564	2.564	2.564	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3/2) + (7/8) + (4/2) + (9/10))$	gr/cc.	2.403	2.403	2.403	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	9.80	9.62	9.00	9.48
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.580	2.580	2.580	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.777	2.777	2.777	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4*P - 10))$	gr/cc.	2.760	2.760	2.760	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 2) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	2.58	2.58	2.58	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3+4) * 17/21$	%	85.60	85.77	86.36	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 - (25+20)$	%	4.60	4.61	4.64	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	14.40	14.23	13.64	14.09
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	2.06	2.06	2.06	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100 \dots$ % PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS DE CA	%	31.93	32.38	34.02	32.78
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2250	2507	2303	
31	Factor de estabilidad		0.96	1.04	1.00	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2160	2607	2303	2357
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	mil.	13	14	14	13.7
34	Fluencia	m.m.	3.30	3.56	3.56	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	6541	7332	6476	6783

[Signature]
 Healy Rivascheyra Obliuas
 Tec. Laboratorio USAT

[Signature]
 TÉCNICO DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245 - MAC a 3% de Ac.

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Filer)	1%
TOTAL	100%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1128
Peso de C.A	60
Peso del Cemento	12
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1200

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.52
B Arena	58.45	55.53
C Filler	1	3.10
D Acero	3	2.85

% Que Pasa el Tamiz					
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10

	100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.5
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla	Especificaciones	IVB
--------	------------------	-----

Nº	Descripción	Unidad	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.52	38.52	38.52	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.53	52.53	52.53	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
6	% de acero	%	3.00	3.00	3.00	
7	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
8	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	2.54
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.550	2.550	2.550	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.720	2.720	2.720	2.74
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.74
12	Peso específico de acero	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47
13	Altura promedio de la briqueta	cm.	1.84	1.84	1.84	1.84
14	Peso de la briqueta en el aire	gr.	6.03	6.03	6.04	
15	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1172.40	1167.60	1185.8	
16	Peso de la briqueta en el agua	gr.	1174.90	1170.00	1187.9	
17	Volumen de la briqueta	cc.	676.6	671.20	689.50	
18	Peso unitario de la briqueta	c.c.	498.3	498.8	498.4	
19	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.353	2.341	2.379	2.358
20	Máxima densidad teórica de los agregados	gr/cc.	2.513	2.513	2.513	
21	% de vacíos con aire	%	2.386	2.386	2.386	
22	Peso específico Bulk del Agregado Total	gr/cc.	6.36	6.84	5.31	6.17
23	Peso específico Aparente del agregado total	gr/cc.	2.580	2.580	2.580	
24	Peso específico efectivo del agregado total	gr/cc.	2.777	2.777	2.777	
25	Asfalto absorbido por el agregado total	%	2.721	2.721	2.721	
26	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta	%	2.05	2.05	2.05	
27	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta	%	86.63	86.19	87.60	
28	% vacíos del agregado mineral	%	7.01	6.97	7.09	
29	Asfalto efectivo / peso de la mezcla	%	13.37	13.81	12.40	13.19
30	Relación betún vacíos	%	3.07	3.07	3.07	
31	Estabilidad sin corregir	kg	52.44	50.50	57.19	53.37
32	Factor de estabilidad	kg	2076	2015	2250	
33	Estabilidad corregida	kg	1.04	1.04	1.04	
34	Lectura del flexímetro	kg	2159	2096	2340	2198
35	Fluencia	m.m.	16	15	15	15.3
36	Relación Estabilidad / fluencia	m.m.	4.06	3.81	3.81	
37		m.m.	5313	5500	6142	5652

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

USAT
 TECNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T-245 - MAC a 3% de Ac.

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Santa Victoria - Pátapo
 TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Filer)	1%
TOTAL	100%

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Peso de Muestra	1402.5
Peso de C.A	82.5
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.32
B Arena	58.45	55.24
C Filler	1	3.61
F Acero	3	2.84

100.00

% Que Pasa el Tamiz						
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40

100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.5
100	90 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueata	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.32	38.32	38.32	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.24	52.24	52.24	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.95	0.95	0.95	
A	% de acero	%	3.00	3.00	3.00	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.550	2.550	2.550	2.54
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.720	2.720	2.720	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.74
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47
B	Peso específico de acero	gr/cc.	1.84	1.84	1.84	1.84
12	Altura promedio de la briqueata	cm.	6.02	6.04	6.05	
13	Peso de la briqueata en el aire	gr.	1161.90	1192.90	1208.2	
14	Peso de la briqueata saturado superficialmente seco	gr.	1163.50	1194.90	1209.7	
15	Peso de la briqueata en el agua 25 °C	gr.	667.2	686.40	691.70	
16	Volumen de la briqueata 14-15	c.c.	496.3	508.5	518	
17	Peso unitario de la briqueata 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.341	2.346	2.332	2.340
18	Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.475	2.475	2.475	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3 * 2) / (7 * 8) + (4 * 2) / (9 * 10))$	gr/cc.	2.370	2.370	2.370	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	5.42	5.22	5.77	5.47
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.580	2.580	2.580	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.778	2.778	2.778	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.698	2.698	2.698	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.74	1.74	1.74	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueata $(3 + 4) * 17/21$	%	85.75	85.93	85.44	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueata $100 - (25 + 20)$	%	8.83	8.85	8.79	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	14.25	14.07	14.56	14.29
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	gr	3.87	3.87	3.87	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100 \dots \% \text{PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS DE CA}$	%	61.96	62.87	60.38	61.74
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1945	1857	1903	
31	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.00	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2023	1931	1903	1952
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	mm.	16	16	17	16
34	Fluencia	m.m.	4.06	4.06	4.32	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4977	4752	4407	4712

Henry
 Riudencya
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica

USAT
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245 - MAC a 3% de Ac.

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Santa Victoria - Pátapo
 TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Grava Chancada 3/4"	42%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento (Filer)	1%
TOTAL	100%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395
Peso de C.A	90
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.55	38.12
B Arena	58.45	54.94
C Filler	1	4.12
D Acero	3	2.82

% Que Pasa el Tamiz						
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº80

100	84.5	73.0	59.5	50.0	21.1	9.6	4.5
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla
Especificaciones IVB

	#	1	2	3	Prom.
1 Número de briqueeta					
2 C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	6.0
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.12	38.12	38.12	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.94	51.94	51.94	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.94	0.94	0.94	
A % de acero	%	3.00	3.00	3.00	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.550	2.550	2.550	2.54
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.720	2.720	2.720	
10 Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.74
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47
B Peso específico de acero	gr/cc.	1.84	1.84	1.84	1.84
12 Altura promedio de la briqueeta	cm.	6.02	6.04	6.03	
13 Peso de la briqueeta en el aire	gr.	1163.50	1188.90	1155.0	
14 Peso de la briqueeta saturada superficialmente seca	gr.	1167.50	1189.90	1158.4	
15 Peso de la briqueeta en el agua 25 °C	gr.	679.6	681.50	660.40	
16 Volumen de la briqueeta 14-15	c.c.	487.9	508.4	498	
17 Peso unitario de la briqueeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.385	2.339	2.319	2.348
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.408	2.408	2.408	
19 Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2/2) + (7+8) + (4^2/2) + (9+10))$	gr/cc.	2.353	2.353	2.353	
20 % de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	0.96	2.87	3.67	2.50
21 Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.580	2.580	2.580	
22 Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.778	2.778	2.778	
23 Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4^2 * P - 10))$	gr/cc.	2.635	2.635	2.635	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23^2 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.84	0.84	0.84	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueeta $(3+4) * 17/21$	%	86.90	85.21	84.51	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueeta $100 - (25 + 20) * 2$	%	12.15	11.91	11.82	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	13.10	14.79	15.49	14.46
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.22	5.22	5.22	
29 Relación betún vacíos $(26/27) * 100$...% PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS	%	92.71	80.57	76.29	83.19
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1415	1550	1470	
31 Factor de estabilidad	kg	1.09	1.04	1.04	
32 Estabilidad corregida 31*32	kg	1542	1612	1529	1561
33 Lectura del fleximetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	17	18	20	18.3
34 Fluencia	m.m.	4.32	4.57	5.08	
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3572	3526	3009	3369

Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO




UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS




GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA PARA MAC MODIFICADA A 3% AC.
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D- 2041 - MAC a 3% de Ac.

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
LUGAR : Chiclayo- Lambayeque
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
TESISTA : Santa Victoria - Pátapo
TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2664	2656	2701	2724
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2079	2059	2095	2101
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3579.0	3559.0	3595.0	3601.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	585	597	606	623
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.564	2.513	2.475	2.408


 Henry Obitias
 Tec. Laboratorio
 USAT


 LABORATORIO DE CONCRETO Y ENLACE DE ASFALTO
 USAT
 Universidad Católica
 Santa Rosa de Mogrovejo
 TÉCNICO DE LABORATORIO



USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

INFORME

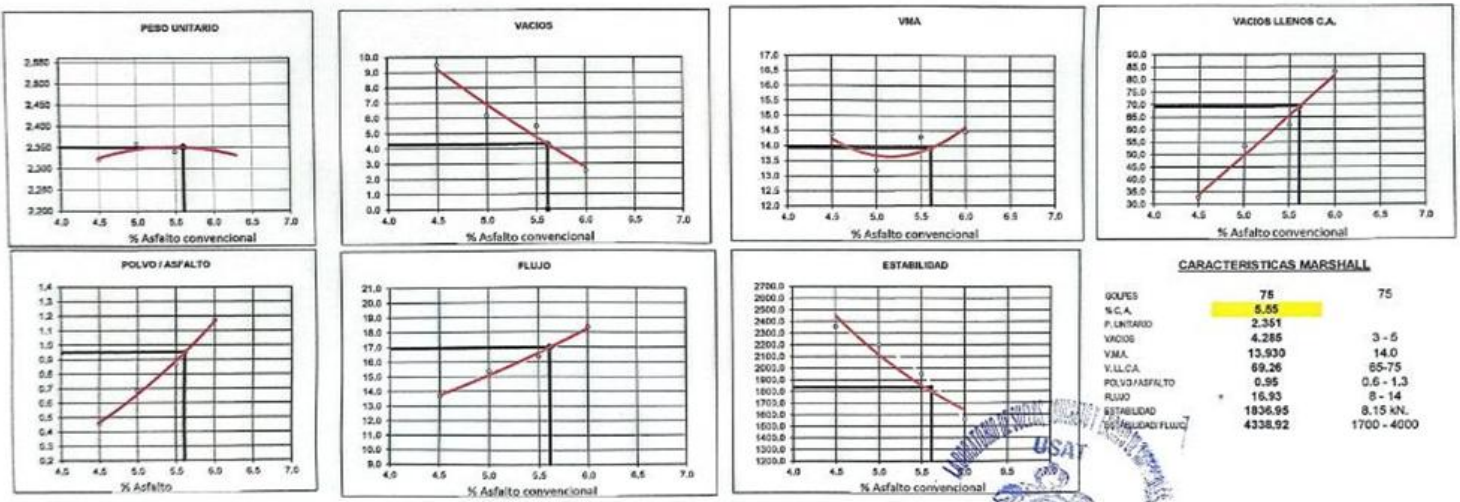
**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
MÉTODO MARSHALL - MAC MODIFICADA A 3% DE Ac.**

PROYECTO : Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente.
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 Pástapo - La Victoria
 TESISISTA : Silva Cubas Tamara Begonia
 UBIACIÓN DE PROYECTO : Chiclayo- Lambayeque

FECHA DE ENSAYO : 15/02/2024

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

**DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO
CURVAS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CONSTANTE**




 Mary Rivadeneyra
 Oblitas
 Tec. Laboratorio



 TÉCNICO DE LABORATORIO



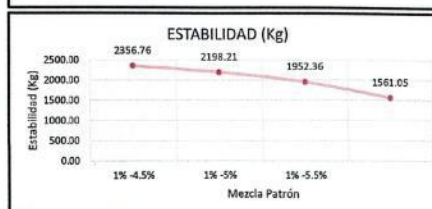
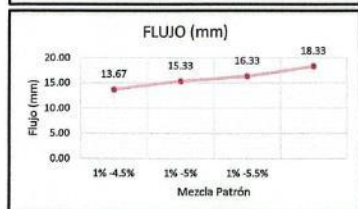
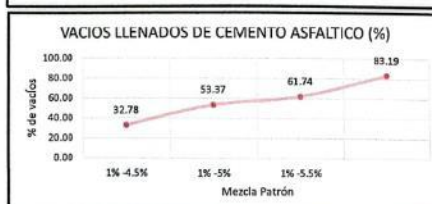
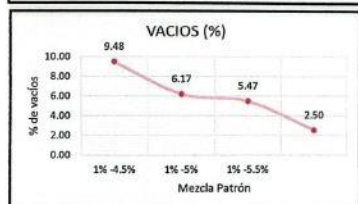
UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS A 3.0% DE SUSTITUCIÓN DE LIMADURA DE ACERO

DESCRIPCION : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
LUGAR : Chiclayo - Lambayeque
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
 : Pátapo - La Victoria
TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm ²)	RESULTADOS				Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
		Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)			
1% -4.5%	2.32	9.48	14.09	32.78	13.67	2356.76	1.23	6783.31
1% -5%	2.36	6.17	13.19	53.37	15.33	2198.21	1.23	5651.53
1% -5.5%	2.34	5.47	14.29	61.74	16.33	1952.36	1.23	4712.22
1% -6%	2.35	2.50	14.46	83.19	18.33	1561.05	1.23	3369.06



Henry Rivas Encaya
 Henry Rivas Encaya
 Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo

LABORATORIO DE ENSAYOS GEOTECNICOS Y ENSAYOS DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 22: Ensayo Cantabro Estado Seco- MAC modificada



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
 Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
 Lugar : Chiclayo- Lambayeque
 Fecha : 15/05/2024
 Ensayo : Cantabro - Estado Seco
 Norma : MTC E 515
 Cantera : Patapo la victoria (arena)
 :Las tres tomas (Ferreñafe)

ENSAYO DE MEZCLAS BITULOMINOSAS MEDIANTE LA PERDIDA POR DESGASTE-CANTABRO

MUESTRA	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Contenido de PEN	%	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61
Método de compactación		Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall
Carga aplicada		Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto
Golpes por lado		50	50	50	50	50	50	50	50
Diametro mm.	mm	101.81	101.74	101.45	101.66	101.64	101.88	101.89	101.66
Espesor mm.	mm	63.685	64.495	64.5975	64.4625	64.6275	65.0725	63.1175	64.0025
Masa seca al aire	gr.	1195.74	1186.04	1195.5	1194.99	1194.16	1193.71	1174.22	1193.83
Masa (SSS)	gr.	1196.53	1188.28	1195.5	1196.22	1196.05	1193.71	1174.22	1193.83
Masa en el agua	gr.	681.56	673.19	679.3	678.6	676.78	675.98	667.12	679.07
Volumen del espécimen	c.c	514.97	515.09	516.2	517.62	519.27	517.73	507.1	514.76
Peso unitario	gr/cc	2.322	2.303	2.316	2.309	2.300	2.306	2.316	2.319
Máxima gravedad específica	gr/cc	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
Porcentaje de vacíos (%)	%	6.53	7.31	6.77	7.06	7.42	7.18	6.78	6.64
Temperatura del procedimiento	°c	25	25	25	25	25	25	25	25
Número de vueltas	rev	300	300	300	300	300	300	300	300
Estado de probeta inicial P1	gr.	1195.51	1185.51	1194.91	1194.36	1193.58	1193.15	1173.68	1193.26
Estado de probeta despues del ensayo P2	gr.	1167.45	1149.75	1158.68	1169.73	1151.23	1152.65	1148.89	1159.76
RESULTADOS Y CÁLCULO DEL ENSAYO									
Pérdida por desgaste	%	2.347	3.016	3.032	2.062	3.548	3.394	2.112	2.807
Promedio de pérdida por desgaste	%	2.790							



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT
 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo

Anexo 23: Ensayo Cantabro Estado Seco- MAC convencional



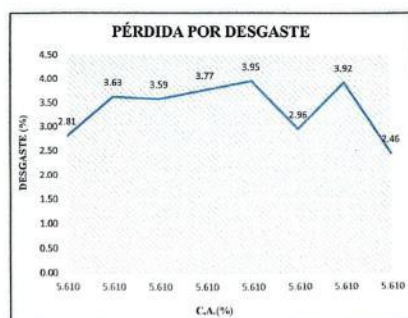
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista :Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 15/05/2024
Ensayo : Cantabro - Estado seco
Norma : MTC E 515
Cantera : Patapo la victoria (arena)
:Las tres tomas (Ferreñafe)

ENSAYO DE MEZCLAS BITULOMINOSAS MEDIANTE LA PERDIDA POR DESGASTE-CANTABRO

MUESTRA	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Contenido de PEN	%	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61
Metodo de compactación		Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall
Carga aplicada		Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto
Golpes por lado		50	50	50	50	50	50	50	50
Diámetro mm.	mm	101.78	101.74	101.83	101.59	101.76	101.74	101.73	101.42
Espesor mm.	mm	64.8825	65.575	65.00	63.0475	65.2825	63.9775	64.9975	65.1925
Masa seca al aire	gr.	1187.85	1187.35	1187.6	1163.23	1194.51	1181.57	1189.47	1186.75
Masa (SSS)	gr.	1188.65	1188.03	1189.1	1164.46	1195.5	1183.91	1191.25	1188.98
Masa en el agua	gr.	672.3	673.5	675.2	659.6	680.35	669.77	678.19	674.27
Volumen del espécimen	c.c	516.35	514.53	513.9	504.86	515.15	514.14	513.06	514.71
Peso unitario	gr/cc	2.300	2.308	2.311	2.304	2.319	2.298	2.318	2.306
Máxima gravedad específica	gr/cc	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
Porcentaje de vacíos (%)	%	7.36	7.08	6.94	7.22	6.63	7.46	6.64	7.16
Temperatura del procedimiento	°c	25	25	25	25	25	25	25	25
Número de vueltas	rev	300	300	300	300	300	300	300	300
Estado de probeta inicial P1	gr.	1187.8	1187.64	1187.02	1164.68	1194.01	1181.02	1188.95	1186.23
Estado de probeta despues del ensayo P2	gr.	1154.38	1144.57	1144.44	1120.74	1146.8	1146.1	1142.33	1157.05
RESULTADOS Y CÁLCULO DEL ENSAYO									
Pérdida por desgaste	%	2.81	3.63	3.59	3.77	3.95	2.96	3.92	2.46
Promedio de pérdida por desgaste	%	3.39							



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 24: Ensayo Cantabro estado húmedo MAC modificada



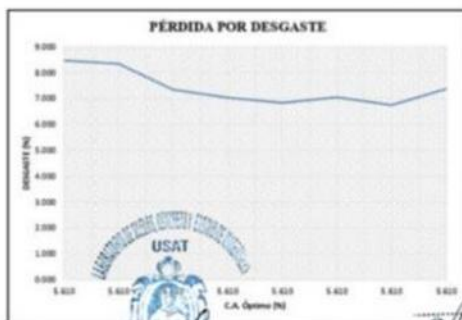
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 18/05/2024
Ensayo : Cantabro
Norma : MTC E 515
Cantera : Patapo la victoria (arena)
 : Las tres tomas (Ferreñafe)

ENSAYO DE MEZCLAS BITULOMINOSAS MEDIANTE LA PERDIDA POR DESGASTE-CANTABRO ESTADO HÚMEDO

MUESTRA	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Contenido de PEN	%	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61
Método de compactación		Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall
Carga aplicada		Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto
Golpes por lado		50	50	50	50	50	50	50	50
Díametro mm.	mm	101.78	101.74	101.83	101.59	101.76	101.74	101.73	101.42
Espesor mm.	mm	64.8825	65.575	65.00	63.0475	65.2825	63.9775	64.9975	65.1925
Masa seca al aire	gr.	1187.82	1187.35	1187.6	1163.23	1194.51	1181.57	1189.47	1186.75
Masa (90%)	gr.	1188.65	1188.03	1189.1	1164.46	1195.5	1183.91	1191.25	1188.98
Masa en el agua	gr.	672.3	673.5	675.2	659.6	680.35	669.77	678.19	674.27
Volumen del espécimen	c.c	516.35	514.53	513.9	504.86	515.15	514.14	513.06	514.71
Peso unitario	gr/cc	2.300	2.308	2.311	2.304	2.319	2.298	2.318	2.306
Máxima gravedad específica	gr/cc	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
Porcentaje de vacíos (%)	%	7.37	7.08	6.94	7.22	6.63	7.46	6.64	7.16
Temperatura del procesamiento	°c	25	25	25	25	25	25	25	25
Número de vueltas	rev	300	300	300	300	300	300	300	300
Estado de probeta inicial P1	gr.	1200.16	1202.64	1197.02	1194.68	1199.01	1189.72	1198.95	1196.23
Estado de probeta después del ensayo P2	gr.	1098.48	1102.29	1109.13	1110.7	1117.09	1105.87	1118.06	1108.06
RESULTADOS Y CÁLCULO DEL ENSAYO									
Pérdida por desgaste	%	8.472	8.344	7.342	7.029	6.832	7.048	6.747	7.371
Promedio de pérdida por desgaste	%	7.398							



Anexo 25: Ensayo Cantabro estado húmedo- MAC convencional



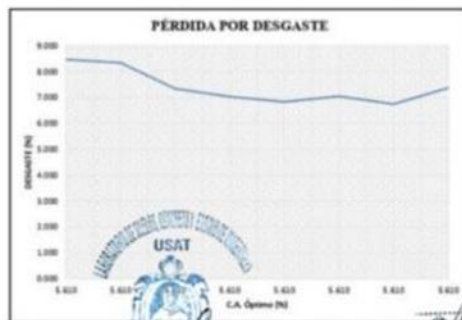
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 18/05/2024
Ensayo : Cantabro
Norma : MTC E 515
Cantera : Patapo la victoria (arena)
: Las tres tomas (Ferreñafe)

ENSAYO DE MEZCLAS BITULOMINOSAS MEDIANTE LA PERDIDA POR DESGASTE- CANTABRO ESTADO HÚMEDO

MUESTRA	N	1	2	3	4	5	6	7	8
Contenido de PEN	%	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61	5.61
Método de compactación		Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall	Marshall
Carga aplicada		Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto
Golpes por lado		50	50	50	50	50	50	50	50
Díametro mm.	mm	101.78	101.74	101.83	101.59	101.76	101.74	101.73	101.42
Espesor mm.	mm	64.8825	65.575	65.00	63.0475	65.2825	63.9775	64.9975	65.1925
Masa seca al aire	gr.	1187.82	1187.35	1187.6	1163.23	1194.51	1181.57	1189.47	1186.75
Masa (SSS)	gr.	1188.65	1188.03	1189.1	1164.46	1195.5	1183.91	1191.25	1188.98
Masa en el agua	gr.	672.3	673.5	675.2	659.6	680.35	669.77	678.19	674.27
Volumen del espécimen	c.c	516.35	514.53	513.9	504.86	515.15	514.14	513.06	514.71
Peso unitario	gr/cc	2.300	2.308	2.311	2.304	2.319	2.298	2.318	2.306
Máxima gravedad específica	gr/cc	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
Porcentaje de vacíos (%)	%	7.37	7.08	6.94	7.22	6.63	7.46	6.64	7.16
Temperatura del procedimiento	°c	25	25	25	25	25	25	25	25
Número de vueltas	rev	300	300	300	300	300	300	300	300
Estado de probeta inicial P1	gr.	1200.16	1202.64	1197.02	1194.68	1199.01	1189.72	1198.95	1196.23
Estado de probeta después del ensayo P2	gr.	1098.48	1102.29	1109.13	1110.7	1117.09	1105.87	1118.06	1108.06
RESULTADOS Y CÁLCULO DEL ENSAYO									
Pérdida por desgaste	%	8.472	8.344	7.342	7.029	6.832	7.048	6.747	7.371
Promedio de pérdida por desgaste	%	7.398							



[Handwritten signature]
 Ing. Mery
 Ojeda
 Obispo
 Ing. Laboratorio
 USAT

Anexo 26: Ensayo Rice para MAC Patrón – Cantabro



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T - 209 ASTM D-2041

TEMA : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
ENSAYO : RICE - AASHTO T-209 ASTM D-2041
CANTERA : Tres Tomas - Ferrelafe
 : Pátapo - La Victoria
TENISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

PORCENTAJE DE ASFALTO	5.61%
1.- PESO DEL FRASCO	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2538
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1914
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3434.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	604
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.483



[Firma manuscrita]
Laboratorio de Geotecnia, Caminos y Ensayos
USAT

Anexo 27: Ensayo rice para MAC modificada- Cantabro



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA
ENSAYO RICE AASHTO T- 209 ASTM D- 2041

TESIS : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
ENSAYO : RICE - AASHTO T-209 ASTM D-2041
CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe
: Pátapo - La Victoria
TESISTA : Silva Cubas Tamara Begonia

PORCENTAJE DE ASFALTO	5.61%
1.- PESO DEL FRASCO	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2538
3.- DIFERENCIA DEL PESO { 04 } - { 05 }	1934
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3434.2
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500
6.- AGUA DESPLAZADA { 2 } - { 3 }	604
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA { 5 } / { 6 }	2.484



Anexo 28: Ensayo Módulo Resiliencia MAC convencional



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 13/05/2024
Ensayo : Módulo resiliente por tracción
Norma : ASTM D4123-82
Cantera : La Victoria - Pátapo
Muestra : Arena

**ASTM D4123-82- INDIRECT TENSILE MODULUS TEST
MEZCLA ASFÁLTICA: MAC-2 - MAC CONVENCIONAL**

FRECUENCIA DE ENSAYO		10 HZ		
TEMPERATURA DE ENSAYO		5 °C	25 °C	40 °C
Especimen		1	1	1
Deformación horizontal I	ΔHI	2.79	3.10	4.21
Deformación vertical I	ΔVI	2.53	3.35	4.44
Deformación horizontal T	ΔHT	4.41	4.99	5.96
Deformación vertical T	ΔVT	5.05	5.45	6.72
Carga (N)	P	4031.91	3796.47	2923.38
Coefficiente Poisson I	V_{RI}	3.69	3.05	3.13
Coefficiente Poisson T	V_{RT}	2.87	3.02	2.91
Espesor de a probeta	t	64210	63780	64120
Módulo de resiliencia (MPa) I	E_{RI}	6076.78	5184.45	2924.01
Módulo de resiliencia (MPa) T	E_{RT}	3844.46	3220.80	2065.45



Anexo 29: Ensayo Modulo Resiliencia MAC modificada



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIVIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 13/05/2024
Ensayo : Módulo resiliente por tracción indirecta
Norma : ASTM D4123-82
Cantera : La Victoria - Pátapo
Muestra : Arena

D4123-

**ASTM D4123-82- INDIRECT TENSILE MODULUS TEST
MEZCLA ASFÁLTICA: MAC-2 - MAC MODIFICADA**

FRECUENCIA DE ENSAYO		10 HZ		
TEMPERATURA DE ENSAYO		5 °C	25 °C	40 °C
ESPECIMEN		1	1	1
Deformación horizontal I	ΔHI	1.86	2.81	4.21
Deformación vertical I	ΔVI	2.12	2.54	4.13
Deformación horizontal T	ΔHT	2.81	3.45	4.92
Deformación vertical T	ΔVT	3.32	3.40	4.96
Carga (N)	P	4110.39	3836.71	3031.29
Coefficiente Poisson I	V_{RI}	2.88	3.70	3.39
Coefficiente Poisson T	V_{RT}	2.77	3.37	3.29
Espesor de a probeta	t	64890	64710	65040
Módulo de resiliencia (MPa) I	E_{RI}	9195.19	5695.58	2989.06
Módulo de resiliencia (MPa) T	E_{RT}	8088.49	4639.00	2557.71



Anexo 30: Ensayo a Tracción Indirecta para MAC convencional



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

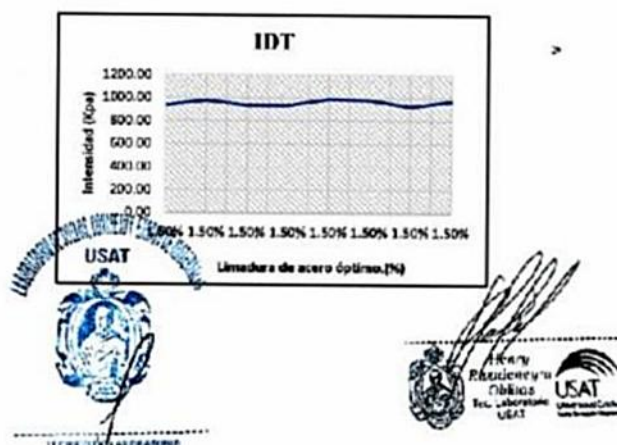


Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 10/05/2023
Ensayo : Ensayo IDT para MAC convencional
Norma : ASTM D6931
Cantera : Pátapo-La Victoria
Muestra : Arena

Método de prueba estándar para Resistencia a la tracción indirecta (IDT) de mezclas bituminosas

Temperatura de ensayo 26°C

Datos	1	2	3	4	5	6	7	8
Carga máxima (kg)	991.250	1033.200	971.140	995.100	1022.700	1022.350	987.200	1005.980
Altura de briqueta (mm)	65.07	64.78	63.05	65.1	63.6	64.12	65.23	63.51
Diámetro de la muestra (mm)	101.4	101.86	102.83	101.77	101.51	101.54	101.82	101.72
Intensidad IDT (Kpa)	937.92	977.56	936.97	937.71	988.98	980.33	927.98	972.17
PROMEDIO	957,45							



Anexo 31: Ensayo a Tracción Indirecta para MAC modificada



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

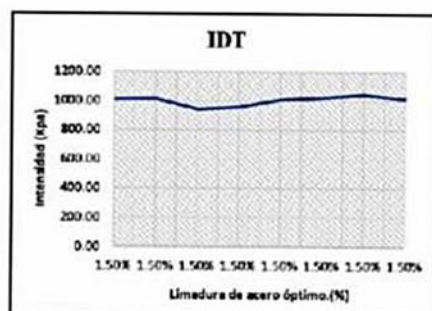


Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 25/04/2024
Ensayo : Ensayo IDT para mezcla modificada
Norma : MTC E 209
Cantera : La Victoria - Pátapo
Muestra : Arena

**Método de prueba estándar para
Resistencia a la tracción indirecta (IDT) de mezclas bituminosas**

Temperatura de ensayo 25°C

Datos	1	2	3	4	5	6	7	8
Carga máxima (N)	1051.320	1063.200	988.740	995.110	1052.300	1061.370	1087.650	1058.120
Altura de briqueta (mm)	84.02	84.1	84.5	83.89	84.22	83.77	84.13	83.98
Diámetro de la muestra (mm)	101.74	101.33	101.5	101.62	101.58	101.49	101.61	101.58
Intensidad IDT (Kpa)	1007.70	1012.32	942.89	958.89	1007.08	1023.84	1042.08	1016.87
PROMEDIO	1001.18							



Anexo 32: Ensayo Lottman para MAC convencional



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista :Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 22/04/2024
Ensayo : Lottman para mezcla convencional
Norma : ASTM 283/MTC-E 522
Cantera : Pátapo-La Victoria
Muestra : Arena

MTC-E 522 / AASHTO T 283: Lottman			GRUPO SATURADO				GRUPO SECO			
ENSAYO	D	Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
DIAMETRO	D	cm	10.15	10.14	10.14	10.18	10.15	10.17	10.18	10.18
ESPOSOR (ALTURA)	t	cm	6.45	6.26	6.53	6.36	6.45	6.48	6.30	6.46
PESO DE PROBETA AAL AIRE	A	Gr.	1190.22	1159.48	1203.78	1184.63	1185.60	1193.84	1163.22	1184.20
SSD DE LA MUESTRA (10 MINUTOS)	B	Gr.	1191.12	1161.01	1204.67	1185.06	1186.47	1195.02	1164.28	1185.65
PESO DE LA MUESTRA EN AGUA (SUM)	C	Gr.	673.42	661.01	683.94	673.37	670.91	675.68	658.47	671.92
VOLUMEN (B-C)	E	c.c.	517.7	500	520.73	511.69	515.56	519.34	505.81	513.73
P.e BULK DE LA MUESTRA (A/E)	F	Gr./c.c.	2.299	2.319	2.312	2.315	2.300	2.299	2.300	2.305
PESO ESPECIFICO MAXIMO (RICE)	G	Gr./c.c.	2.4834	2.4834	2.4834	2.4834	2.4834	2.4834	2.4834	2.4834
VACIOS (100(G-F)/G)	H	%	7.42	6.62	6.91	6.77	7.40	7.43	7.39	7.18
VOLUMEN DE VACIOS (H*E)/100)	I	c.c.	38.42	33.1	35.99	34.66	38.14	38.6	37.4	36.88
SATURACIÓN: 29 min.			MUESTRA SATURADA EN VACIO							
SSD DE LA MUESTRA	B'	Gr.	1216.68	1183.46	1228.01	1208.08				
PESO DE LA MUESTRA EN AGUA	C'	Gr.	697.54	682.26	705.61	694.15				
VOLUMEN DE LA MUESTRA (B'-C')	E'	c.c.	519.14	501.2	522.4	513.93				
VOL. AGUA DE ABSORCIÓN (B'-A)	J'	c.c.	26.46	23.98	24.23	23.45				
SATURACIÓN (100 J' / I)		%	68.87	72.45	67.32	67.66				
HINCHAMIENTO (100 (E' - E)/E)		%	0.28	0.24	0.32	0.44				
CONDICIONES DE SATURACIÓN POR 24 Hrs. a 60 °C en Agua										
ESPOSOR	t''	cm	6.46	6.28	6.55	6.37				
SSD DE LA MUESTRA	B''	Gr.	1217.91	1185.8	1232.9	1211.2				
PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	C''	Gr.	698.66	682.81	708.57	696.86				
VOLUMEN (B''-C'')	E''	c.c.	519.25	502.99	524.33	514.34				
VOL. AGUA DE ABSORCIÓN (B''-A)	J''	c.c.	27.69	26.32	29.12	26.57				
SATURACIÓN (100 J'' / I)		%	72.07	79.52	80.91	76.66				
HINCHAMIENTO (100 (E'' - E)/E)		%	0.30	0.60	0.69	0.52				
CARGA TRACCIÓN	P''	Kg.	301	299	272	309	343	350	405	365
RESISTENCIA SECA 2P/ 1DPI	S td	Kg/cm3					3.33	3.38	4.02	3.53
RESISTENCIA HÚMEDA 2P'' / 1'' DPI	Stm	Kg/cm2	2.92	2.99	2.61	3.04				
PROMEDIO DE RESISTENCIA		Kpa	28.34				35.00			
TRACCIÓN INDIRECTA	TSR	%	80.96							

Henry Rivadeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA
SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 33: Ensayo Lottman para MAC modificada



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Silva Cubas Tamara Begonia
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : "Influencia de la limadura de acero como reemplazo de una fracción del agregado fino en una mezcla asfáltica en caliente"
Lugar : Chiclayo- Lambayeque
Fecha : 22/04/2023
Ensayo : Lottman para mezcla modificada
Norma : MTC E 522
Cantera : Pátapo-La Victoria
Muestra : Arena

MTC-E 522 / AASHTO T 283: Lottman			GRUPO SATURADO				GRUPO SECO			
ENSAYO		N°	1	2	3	4	5	6	7	8
DIAMETRO	D	cm	10.17	10.185	10.163	10.186	10.186	10.175	10.173	10.177
ESPESOR (ALTURA)	t	cm	6.40	6.41	6.36	6.37	6.398	6.405	6.443	6.451
PESO DE PROBETA AAL AIRE	A	Gr.	1187	1185.3	1188.14	1195.73	1190.49	1191.01	1193.38	1192.01
SSD DE LA MUESTRA (10 MINUTOS)	B	Gr.	1187.97	1186.88	1190.44	1196.58	1191.25	1192.53	1194.91	1193.59
PESO DE LA MUESTRA EN AGUA (SUM)	C	Gr.	674.22	673.29	678.3	681.49	674.55	676.28	675.61	675.24
VOLUMEN (B-C)	E	c.c.	513.75	513.59	512.14	515.09	516.7	516.25	519.3	518.35
P.e BULK DE LA MUESTRA (A/E)	F	Gr./c.c.	2.310	2.308	2.320	2.321	2.304	2.307	2.298	2.300
PESO ESPECIFICO MAXIMO (RICE)	G	Gr./c.c.	2.48	2.48	2.48	2.48	2.484	2.484	2.484	2.484
VACIOS (100(G-F)/G)	H	%	6.99	7.09	6.61	6.55	7.25	7.13	7.49	7.43
VOLUMEN DE VACIOS (H*E)/100)	I	c.c.	35.91	36.43	33.84	33.74	37.5	36.8	38.9	38.5
SATURACIÓN: 20 min. MUESTRA SATURADA EN VACIO										
SSD DE LA MUESTRA	B'	Gr.	1211.75	1211.01	1214.46	1220.47				
PESO DE LA MUESTRA EN AGUA	C'	Gr.	695.89	695.63	700.37	703.61				
VOLUMEN DE LA MUESTRA (B'-C')	E'	c.c.	515.86	515.38	514.09	516.86				
VOL. AGUA DE ABSORCIÓN (B'-A)	J'	c.c.	24.75	25.7	26.32	24.74				
SATURACIÓN (100 J' / I)		%	68.9	70.5	77.8	73.3				
HINCHAMIENTO (100 (E' - E)/E)		%	0.411	0.35	0.381	0.34				
CONDICIONES DE SATURACIÓN POR 24 Hrs. a 60 °C en Agua										
ESPESOR	t'	cm	6.43	6.43	6.39	6.39				
SSD DE LA MUESTRA	B''	Gr.	1212.84	1213.14	1215.59	1221.9				
PESO DE LA MUESTRA EN EL AGUA	C''	Gr.	696.34	695.67	700.45	704.7				
VOLUMEN (B''-C'')	E''	c.c.	516.5	517.47	515.14	517.2				
VOL. AGUA DE ABSORCIÓN (B''-A)	J''	c.c.	25.84	27.83	27.45	26.17				
SATURACIÓN (100 J'' / I)		%	71.96	76.39	81.11	77.57				
HINCHAMIENTO (100 (E'' - E)/E)		%	0.54	0.76	0.59	0.41				
CARGA TRACCIÓN	P''	Kg.	299	324	276	365	375	365	412	356
RESISTENCIA SECA 2P/ tDPI	S td	Kg/cm3					3.66	3.57	4.00	3.45
RESISTENCIA HÚMEDA 2P''/ t''DPI	Stm	Kg/cm2	2.91	3.15	2.71	3.57				
PROMEDIO DE RESISTENCIA		Kpa			30.26				36.01	
PROMEDIO	TSR	%			84.04					

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TECNICO DE LABORATORIO

Anexo 34: Panel fotográfico

Ensayo de equivalente de arena

Ilustración 45 Preparación de la muestra para ensayo de equivalente de arena



Ilustración 44 Colocación de agua destilada en las 3 probetas

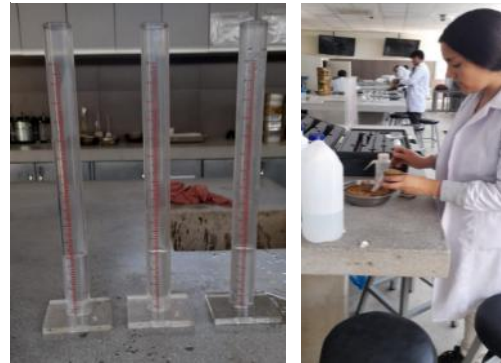


Ilustración 47 Colocación de la arena en las probetas y el agitado de la muestra

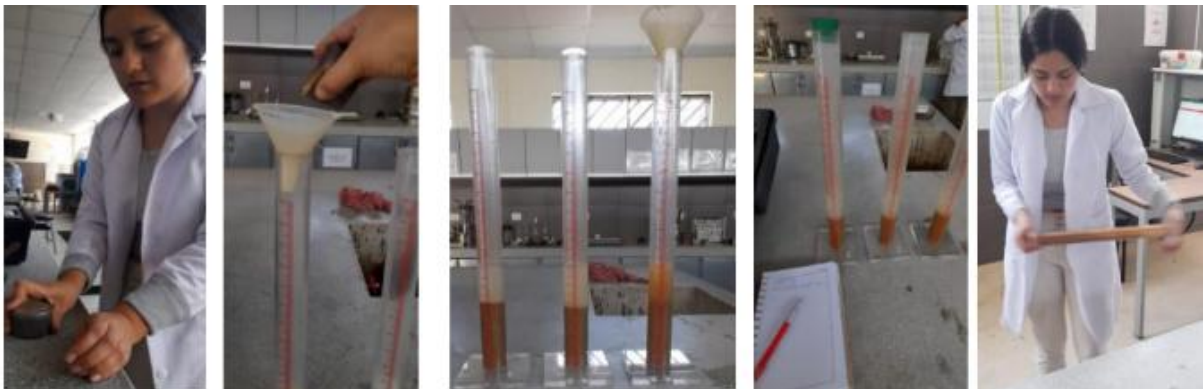


Ilustración 46 Lectura del nivel en el que la arena se asienta con ayuda del pizón



Ensayo de límite líquido y plástico

Ilustración 48 Determinación del límite líquido con la copa de Casa Grande



Ilustración 49 Pesaje de muestras antes y después del horno (Malla N°200 Y 40)



Ensayo azul de metileno

Ilustración 50 Proceso para ensayo azul de metileno



Ensayo de Absorción de agregado fino

Ilustración 51 Proceso para determinar el ensayo de absorción de agregado fino



Ensayo de sales solubles para agregado fino y grueso

Ilustración 52 Proceso para determinar ensayo de sales solubles para agregado fino y grueso



Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio del agregados fino y grueso

Ilustración 53 Proceso para determinar la durabilidad del agregado fino y grueso



Ilustración 54 Muestras después de 24 horas con la solución de sulfato de magnesio



Ilustración 55 Proceso para determinar desgaste por abrasión



Ensayo de absorción de agregado grueso

Ilustración 56 Proceso para determinar la absorción de agregado grueso



Caracterización del acero

Ilustración 57 Preparación de la muestra de acero para caracterización



Granulometría de la limadura de acero

Ilustración 58 Proceso para determinar la granulometría de la limadura de acero



Elaboración de briquetas

Ilustración 59 Elaboración de briquetas



Briquetas ensayo Marshall

Ilustración 60 Muestras de 48 briquetas para ensayo Marshall



Ensayo Rice

Ilustración 61 Proceso para determinar gravedad específica



Ensayo de cántabro en estado húmedo y seco

Ilustración 62 Proceso para terminar el desgaste de briquetas en estado Húmedo y seco



Ilustración 63 Muestras sometidas a ensayo de desgaste - Cantabro



Ensayo de Lottman

Ilustración 64 Proceso para terminar la humedad inducida de briquetas



Ensayo de Módulo de resiliencia

Ilustración 65 Briquetas luego de ser sometidas a tracción



Ilustración 66 Proceso para determinar las deformaciones en briquetas



Ensayo de tracción indirecta

Ilustración 67 Muestras sometidas a tracción indirecta

