

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



**Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente**

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

**AUTOR**

**Alex Junior Roa Bernal**

**ASESOR**

**Joaquin Hernan Rojas Oblitas**

<https://orcid.org/0000-0002-6521-0215>

**Chiclayo, 2025**

**Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente**

PRESENTADA POR  
**Alex Junior Roa Bernal**

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

**INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR

Anibal Teodoro Diaz Orrego  
PRESIDENTE

Juan Jacobo Sanchez Bautista  
SECRETARIO

Joaquin Hernan Rojas Oblitas  
VOCAL

## **Dedicatoria**

Dedico este logro a mis padres, quienes con su amor, apoyo incondicional y sacrificio hicieron posible cada paso en este camino. A mi prometida, quien ha sido mi compañera en las noches de estudio y mi roca en los momentos de duda. A mis hermanos, a quienes he intentado enseñar y quienes, a su manera, han sido parte de mi inspiración. A mis abuelos, cuyo legado de sabiduría y valores continúan guiándome en este camino. A todos aquellos que han contribuido a mi formación personal y profesional, les agradezco de todo corazón.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todos aquellos que han sido parte de este importante capítulo de mi vida. Su aliento y guía han sido un pilar fundamental en mi camino.

En especial, deseo honrar la memoria de aquellos seres queridos que, aunque ya no estén físicamente conmigo, dejaron una huella imborrable en mi corazón. Como gesto de gratitud hacia ellos, he decidido entregar una copia de mi grado a la persona o al hogar que represente su legado y su apoyo constante a lo largo de mi trayectoria, ¡gracias por su inquebrantable apoyo y por compartir este logro conmigo!

# Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>11</b> %	<b>10</b> %	<b>1</b> %	<b>2</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>4</b> %
<b>2</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>doku.pub</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>5</b>	<b>pt.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>6</b>	<b>qdoc.tips</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>7</b>	<b>repositorio.continental.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>8</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %

## Índice

<b>Resumen</b> .....	<b>19</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>20</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>21</b>
<b>Revisión de literatura</b> .....	<b>23</b>
<b>Antecedentes</b> .....	<b>23</b>
<b>Bases Teórico Científicas</b> .....	<b>25</b>
Látex de caucho natural .....	25
Mezclas asfálticas en caliente (MAC).....	27
Agregado pétreo.....	27
Propiedades del agregado pétreo .....	27
Filler.....	31
Cemento asfáltico.....	31
Propiedades del cemento asfáltico .....	31
Diseño de las MAC – Método de Marshall .....	32
Propiedades físicas de las MAC.....	34
Propiedades mecánicas de las MAC.....	36
<b>Materiales y métodos</b> .....	<b>38</b>
<b>Tipo y nivel de investigación</b> .....	<b>38</b>
<b>Población, muestra y muestreo</b> .....	<b>38</b>
<b>Criterio de selección</b> .....	<b>42</b>
<b>Operacionalización de variables</b> .....	<b>44</b>
<b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</b> .....	<b>45</b>
<b>Procedimientos</b> .....	<b>45</b>
Ensayos del material granular .....	45
Durabilidad del agregado grueso y fino .....	45
Abrasión Los Ángeles.....	47
Partículas chatas y alargadas del agregado grueso .....	48

Caras fracturadas del agregado grueso .....	50
Sales solubles totales del agregado grueso y fino.....	52
Equivalente arena.....	54
Azul metileno del agregado fino .....	55
Índice de plasticidad del agregado fino .....	57
Ensayos del cemento asfáltico.....	58
Penetración .....	58
Ductilidad .....	59
Ensayos de la mezcla asfáltica en caliente .....	60
Densidad .....	60
Vacíos .....	62
Estabilidad y fluencia.....	62
Razón del esfuerzo a tensión indirecta .....	63
Pérdida por desgaste.....	66
Inmersión – compresión.....	68
<b>Plan de procesamiento y análisis de datos .....</b>	<b>70</b>
<b>Matriz de consistencia.....</b>	<b>72</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>75</b>
<b>Ensayos del material granular .....</b>	<b>75</b>
Durabilidad del agregado grueso.....	75
Durabilidad del agregado fino.....	75
Abrasión Los Ángeles .....	76
Partículas chatas y alargadas .....	77
Caras fracturadas.....	77
Sales solubles.....	78
Equivalente arena.....	79
Azul de metileno .....	79
Índice de plasticidad.....	79
Absorción del agregado fino .....	80
Absorción del agregado grueso .....	81
<b>Ensayos al cemento asfáltico patron y modificado.....</b>	<b>81</b>
Penetración del cemento asfáltico patron y modificado .....	82
Ductilidad del cemento asfáltico patron y modificado .....	82

<b>Contenido óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica patrón .....</b>	<b>83</b>
Gradación del agregado pétreo .....	83
Ensayo Marshall.....	85
Determinación del contenido óptimo de asfalto .....	89
<b>Desarrollo del diseño de la mezcla asfáltica modificada.....</b>	<b>90</b>
Ensayo Marshall.....	90
Pérdida por desgaste.....	94
Inmersion – compresión.....	95
Razón del esfuerzo a tensión indirecta .....	97
<b>Costo de fabricación de la MAC modificada .....</b>	<b>99</b>
<b>Discusiones .....</b>	<b>102</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>107</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>109</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>110</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>113</b>

## Lista de Tablas

Tabla 1: Requerimiento de gradación para mezclas asfálticas.....	28
Tabla 2: Requerimiento de durabilidad para el material granular.....	28
Tabla 3: Requerimiento de abrasión para el material granular .....	28
Tabla 4: Requerimiento de partículas chatas y alargadas .....	29
Tabla 5: Requerimiento de caras fracturadas para el agregado grueso .....	29
Tabla 6: Requerimiento de sales solubles totales para el material granular.....	29
Tabla 7: Requerimiento de absorción para el agregado grueso y fino .....	29
Tabla 8: Requerimiento de equivalente arena para el agregado fino .....	30
Tabla 9: Requerimiento de azul de metileno para el agregado fino.....	30
Tabla 10: Requerimiento de índice de plasticidad para el agregado fino .....	30
Tabla 11: Distinción del bitumen asfáltico por penetración.....	32
Tabla 12: Tipo e intensidades de tráfico .....	32
Tabla 13: Especificaciones para la MAC .....	33
Tabla 14: Requerimiento de VMA.....	33
Tabla 15: Muestras para ensayos del cemento asfáltico.....	39
Tabla 16: Muestras para establecer el contenido óptimo de ligante.....	39
Tabla 17: Muestras de ensayos a la MAC patrón y modificada.....	41
Tabla 18: Operacionalización de variables independiente y dependiente.....	44
Tabla 19: Operacionalización de variables intervinientes.....	45
Tabla 20: Tamices normalizados para el agregado fino.....	46
Tabla 21: Tamices normalizados para el agregado grueso.....	46
Tabla 22: Cantidad de muestra para gradación de ensayo .....	48
Tabla 23: Masa mínima de la muestra de ensayo de partículas chatas y alargadas .....	49
Tabla 24: Muestras mínimas para ensayo de caras fracturadas.....	51
Tabla 25: Cantidad de muestra para sales solubles .....	53
Tabla 26: Valor de azul de metileno y comportamiento esperado de la MAC .....	55

Tabla 27: Desempeño en la prueba de durabilidad del árido grueso.....	75
Tabla 28: Desempeño en la prueba de durabilidad del árido fino.....	76
Tabla 29: Desempeño en la prueba de abrasión del árido grueso .....	76
Tabla 30: Desempeño en la prueba de partículas chatas y alargadas.....	77
Tabla 31: Desempeño en la prueba de caras fracturadas del árido grueso.....	78
Tabla 32: Desempeño en el test de sst del material granular .....	78
Tabla 33: Desempeño en el ensayo de EA en árido fino .....	79
Tabla 34: Desempeño en la prueba de metileno de azul en árido fino.....	79
Tabla 35: Desempeño en la prueba de índice de plasticidad en árido fino .....	80
Tabla 36: Curva de fluidez del agregado fino .....	80
Tabla 37: Desempeño en la prueba de absorción del árido fino .....	81
Tabla 38: Desempeño en el ensayo de absorción del agregado grueso.....	81
Tabla 39: Desempeño en el ensayo de penetración al C.A. patrón y modificado.....	82
Tabla 40: Desempeño en el ensayo de ductilidad del C.A. patrón y modificado .....	83
Tabla 41: Resultado de gradación del agregado pétreo.....	84
Tabla 42: Dosificaciones en porcentaje de la mezcla para ligante óptimo .....	85
Tabla 43: Desempeño en prueba de Marshall - MAC Patrón - Tráfico ligero.....	85
Tabla 44: Desempeño en la prueba de Marshall - MAC Patrón - Tráfico pesado .....	87
Tabla 45: Desempeño del contenido óptimo de ligante - Trafico ligero.....	89
Tabla 46: Desempeño de contenido óptimo de ligante - Tráfico pesado .....	89
Tabla 47: Desempeño en la prueba de densidad a la MAC patrón y modificada .....	90
Tabla 48: Resultados de porcentaje de vacíos a la MAC patrón y modificada.....	91
Tabla 49: Desempeño de estabilidad y fluencia para la MAC patrón y modificada.....	93
Tabla 50: Desempeño en el ensayo de cántabro para la MAC patrón y modificada .....	94
Tabla 51: Desempeño en el ensayo de I-C para la MAC patrón y modificada – T. Ligero.....	95
Tabla 52: Desempeño en el ensayo de I-C para la MAC patrón y modificada – T. Pesado ....	96
Tabla 53: Resultados de TSR para la MAC patrón y modificada – T. Ligero.....	97

Tabla 54: Resultados de TSR para la MAC patrón y modificada - T. Pesado.....	98
Tabla 55: Costo de la MAC convencional por m <sup>3</sup> .....	99
Tabla 56: Costo de la MAC modificada por m <sup>3</sup> .....	100
Tabla 57: APU de la MAC convencional.....	100
Tabla 58: APU de la MAC modificada.....	101
Tabla 59: Tabla de desempeño en los ensayos al material granular .....	102

## Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: Látex de caucho natural .....	25
Ilustración 2: Estructura química del LCN.....	25
Ilustración 3: Parámetros físicos de una MAC.....	35
Ilustración 4: Ensayo Marshall.....	36
Ilustración 5: Ensayo de TSR.....	36
Ilustración 6: Esquema de determinación del contenido óptimo de betún de MAC patrón.....	40
Ilustración 7:Esquema del desarrollo de las MAC modificadas con el contenido óptimo de betún patrón.....	41
Ilustración 8: Ficha de procedencia del ligante asfáltico - PEN 60/70 .....	42
Ilustración 9: Rasgado del árbol.....	43
Ilustración 10: Recolección del látex .....	43
Ilustración 11: Coagulado de látex.....	43
Ilustración 12: Oreado y secado del látex .....	43
Ilustración 13: Solución de sulfato de magnesio.....	47
Ilustración 14:Inmersión de las muestras en solución.....	47
Ilustración 15: Lavado de las muestras .....	47
Ilustración 16: Pesado de agregado grueso .....	48
Ilustración 17: Disposición del árido .....	48
Ilustración 18: Selección de las formas del agregado .....	50
Ilustración 19: Conformación de las masas en función de la forma .....	50
Ilustración 20: Selección de agregado con caras fracturadas.....	52
Ilustración 21: Colocación de muestra en vaso precipitado.....	53
Ilustración 22: Pesado de la presencia.....	53
Ilustración 23: Mezclado y reducción de muestra.....	55
Ilustración 24: Forzamiento de irrigador.....	55
Ilustración 25: Suspensión de material fino .....	55

Ilustración 26: Sedimentación de la arcilla .....	55
Ilustración 27: Batido de muestra y azul de metileno .....	56
Ilustración 28: Observación de la gota de azul de metileno .....	56
Ilustración 29: Muestras para índice de plasticidad .....	58
Ilustración 30: Utilización de la copa de casa grande .....	58
Ilustración 31: Registro de pesos .....	58
Ilustración 32: Ensayo de penetración al cemento asfáltico patrón y modificado .....	59
Ilustración 33: Molde de bronce con vaciado de cemento asfáltico.....	60
Ilustración 34: Colocación de molde de bronce a baño de agua .....	60
Ilustración 35: Elaboración y conformación de la MAC .....	63
Ilustración 36: Compactación de la MAC .....	63
Ilustración 37: Enfriado y desmolde de briquetas .....	63
Ilustración 38: Ensayo de estabilidad y fluencia .....	63
Ilustración 39: Grupo de briquetas secas para ensayo de TSR .....	66
Ilustración 40: Grupo de briquetas llevadas a enfriamiento para ensayo de TSR.....	66
Ilustración 41: Ejecución de la carga para ensayo de TSR .....	66
Ilustración 42: Presencia de la falla durante el ensayo de TSR.....	66
Ilustración 43: Ejecución de la evaluación de pérdida por desgaste por cántabro .....	68
Ilustración 44: Procesamiento de datos para el ensayo de pérdida por desgaste por cántabro	68
Ilustración 45: Evidencias de briquetas desgastadas por abrasión .....	68

## Lista de Gráficos

Gráfico 1: Secuencia de técnicas para la elaboración de plancha de látex.....	26
Gráfico 2: Penetración del C.A. patrón y modificado.....	82
Gráfico 3: Ductilidad del C.A. patrón y modificado.....	83
Gráfico 4: Gradación del agregado pétreo - MAC 2.....	84
Gráfico 5: Peso unitario vs C. Asfalto – T. Ligero .....	86
Gráfico 6: % Vacíos vs C. Asfalto – T. Ligero .....	86
Gráfico 7: % VMA vs C. Asfalto – T. Ligero.....	86
Gráfico 8: % VFA vs C. Asfalto – T. Ligero .....	86
Gráfico 9: Flujo vs C. Asfalto – T. Ligero .....	86
Gráfico 10: Estabilidad vs C. Asfalto – T. Ligero.....	86
Gráfico 11: Peso unitario vs C. Asfalto – T. Pesado.....	88
Gráfico 12: % Vacíos vs C. Asfalto – T. Pesado .....	88
Gráfico 13: % VMA vs C. Asfalto – T. Pesado .....	88
Gráfico 14: % VFA vs C. Asfalto – T. Pesado .....	88
Gráfico 15: Flujo vs C. Asfalto – T. Pesado .....	88
Gráfico 16: Estabilidad vs C. Asfalto – T. Pesado.....	88
Gráfico 17: Peso unitario de la MAC patrón y modificada.....	90
Gráfico 18: Rice de la MAC patrón y modificada .....	91
Gráfico 19: Porcentaje de Va de la MAC patrón y modificada .....	92
Gráfico 20: Porcentaje de VMA de la MAC patrón y modificada.....	92
Gráfico 21: Porcentaje de VFA de la MAC patrón y modificada .....	92
Gráfico 22: Estabilidad de la MAC patrón y modificada.....	93
Gráfico 23: Flujo de la MAC patrón y modificada .....	94
Gráfico 24: Pérdida por deterioro de la MAC patrón y modificada.....	95
Gráfico 25: Resistencia retenida de la MAC patrón y modificada – T. Ligero .....	96
Gráfico 26: Resistencia retenida de la MAC patrón y modificada – T. Pesado.....	97

Gráfico 27: TSR de la MAC patrón y modificada – T. Ligero .....	98
Gráfico 28: TSR de la MAC patrón y modificada – T. Pesado .....	99

## Lista de Ecuaciones

Ecuación 1: Por ciento de masa de partículas con forma alargada .....	50
Ecuación 2: Por ciento de masa de partículas con forma achatada .....	50
Ecuación 3: Porcentaje de partículas de caras fracturadas .....	51
Ecuación 4: Por ciento de sales solubles totales.....	53
Ecuación 5: Arena equivalente.....	54
Ecuación 6: Valor de azul de metileno.....	56
Ecuación 7: Limite líquido.....	57
Ecuación 8: Gravedad específica de una briqueta ( $G_{al}$ ) .....	61
Ecuación 9: Gravedad específica de la parafina (F).....	61
Ecuación 10: Gravedad específica aparente de la briqueta .....	61
Ecuación 11: Densidad de la briqueta .....	61
Ecuación 12: Por ciento de vacíos de aire de una briqueta .....	62
Ecuación 13: Volumen de vacíos de aire ( $V_a$ ) .....	64
Ecuación 14: Volumen absorbido de agua ( $J$ ) .....	64
Ecuación 15: Grado de saturación ( $S'$ ) .....	65
Ecuación 16: Esfuerzo a la tensión ( $S_t$ ).....	65
Ecuación 17: Razón del esfuerzo a tensión (TSR).....	66
Ecuación 18: Valor de la pérdida por desgaste (P) .....	67
Ecuación 19: Índice de resistencia retenida .....	69

## Lista de Anexos

Anexo 1: Validación de ensayos de laboratorio .....	113
Anexo 2: Validación de la evaluación de durabilidad al MgSO <sub>4</sub> del AG .....	114
Anexo 3: Validación de la evaluación de durabilidad al MgSO <sub>4</sub> del AF.....	115
Anexo 4: Validación de la evaluación de abrasión Los Ángeles del AG.....	116
Anexo 5: Validación de la evaluación de partículas chatas y largas del AG .....	117
Anexo 6: Validación de la evaluación de caras fracturadas del AG .....	118
Anexo 7: Validación de la evaluación de sales solubles del AG y AF .....	119
Anexo 8: Validación de la evaluación de equivalente arena del AF.....	120
Anexo 9: Validación de la evaluación de azul de metileno del AF .....	121
Anexo 10: Validación de la evaluación de índice de plasticidad del AF .....	122
Anexo 11: Validación de la evaluación de absorción del AG.....	123
Anexo 12: Validación de la evaluación de absorción del AF .....	124
Anexo 13: Validación del ensayo químico del látex de caucho natural.....	125
Anexo 14: Validación de la evaluación de penetración y ductilidad del asfalto.....	126
Anexo 15: Validación de la evaluación de penetración y ductilidad del asfalto + 2.5% LCN .....	127
Anexo 16: Validación de la evaluación de penetración y ductilidad del asfalto + 4.5% LCN .....	128
Anexo 17: Validación de la evaluación de penetración y ductilidad del asfalto + 6.5% LCN .....	129
Anexo 18: Validación de registro de carga y flexímetro para ligante óptimo - T. Ligeró.....	130
Anexo 19: Validación de la gradación del material pétreo .....	131
Anexo 20: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 4% - T. Ligeró	132
Anexo 21: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 4.5% - T. Ligeró .....	133
Anexo 22: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 5% - T. Ligeró	134
Anexo 23: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 5.5% - T. Ligeró .....	135

Anexo 24: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 6% - T. Ligerol	136
Anexo 25: Validación de la evaluación de rice - T. Ligerol .....	137
Anexo 26: Validación del contenido óptimo de asfalto – T. Ligerol .....	138
Anexo 27: Validación de registro de carga y flexímetro para ligante óptimo - T. Pesadol	139
Anexo 28: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 4% - T. Pesadol	140
Anexo 29: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 4.5% - T. Pesadol	141
Anexo 30: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 5% - T. Pesadol	142
Anexo 31: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 5.5% - T. Pesadol	143
Anexo 32: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 6% - T. Pesadol	144
Anexo 33: Validación de la evaluación de rice – T. Pesadol .....	145
Anexo 34: Validación del contenido óptimo de asfalto – T. Pesadol .....	146
Anexo 35: Pesado y dimensionamiento de briquetas de la MAC patrón – T. Pesadol .....	147
Anexo 36: Pesado y dimensionamiento de briquetas de la MAC patrón – T. Ligerol .....	148
Anexo 37: Evidencias de procesamiento de LCN en laboratorio .....	149
Anexo 38: Validación de registro de carga y flexímetro para MAC + LCN - T. Ligerol .....	150
Anexo 39: Validación de la evaluación de Marshall para MAC patrón - T. Ligerol .....	151
Anexo 40: Validación de la evaluación de Marshall para MAC + 2.5% LCN - T. Ligerol .....	152
Anexo 41: Validación de la evaluación de Marshall para MAC + 4.5% LCN - T. Ligerol .....	153
Anexo 42: Validación de la evaluación de Marshall para MAC + 6.5% LCN - T. Ligerol .....	154
Anexo 43: Validación de la evaluación de rice par MAC modificada - T. Ligerol .....	155
Anexo 44: Validación de la evaluación de Marshall para MAC modificada - T. Ligerol .....	156
Anexo 45: Validación de registro de carga y flexímetro para MAC + LCN - T. Pesadol .....	157
Anexo 46: Validación de la evaluación de Marshall para MAC patrón - T. Pesadol .....	158
Anexo 47: Validación de la evaluación de Marshall para MAC + 2.5% LCN - T. Pesadol .....	159

Anexo 48: Validación de la evaluación de Marshall para MAC + 4.5% LCN - T. Pesado...	160
Anexo 49: Validación de la evaluación de Marshall para MAC + 6.5% LCN - T. Pesado...	161
Anexo 50: Validación de la evaluación de rice par MAC modificada - T. Pesado.....	162
Anexo 51: Validación de la evaluación de Marshall para MAC modificada - T. Pesado.....	163
Anexo 52: Validación de registro de pesos para cantabro de MAC + LCN .....	164
Anexo 53: Validación de la evaluación de cantabro para MAC modificada - T. Ligero.....	165
Anexo 54: Validación de la evaluación de cantabro para MAC modificada - T. Pesado .....	166
Anexo 55: Validación de registro de pesos de Lottman para MAC + LCN .....	167
Anexo 56: Validación de la evaluación de Lottman para MAC patrón - T. Ligero.....	168
Anexo 57: Validación de la evaluación de Lottman para MAC + 2.5% LCN - T. Ligero ....	169
Anexo 58: Validación de la evaluación de Lottman para MAC + 4.5% LCN - T. Ligero ....	170
Anexo 59: Validación de la evaluación de Lottman para MAC + 6.5% LCN - T. Ligero ....	171
Anexo 60: Validación de la evaluación de Lottman para MAC patrón - T. Pesado .....	172
Anexo 61: Validación de la evaluación de Lottman para MAC + 2.5% LCN - T. Pesado.....	173
Anexo 62: Validación de la evaluación de Lottman para MAC + 4.5% LCN - T. Pesado....	174
Anexo 63: Validación de la evaluación de Lottman para MAC + 6.5% LCN - T. Pesado....	175
Anexo 64: Evidencias fotográficas de pesado de briquetas para cantabro.....	176
Anexo 65: Evidencias fotográficas de briquetas desgastadas por cantabro .....	177
Anexo 66: Evidencias fotográficas durante la elaboración de la investigación .....	178

## Resumen

Los pavimentos flexibles enfrentan un deterioro acelerado debido a factores como el tráfico constante, cargas pesadas y condiciones climáticas adversas, lo cual genera patologías visibles como fisuras y baches que elevan los riesgos de accidentes, afectando la seguridad vial. Ante esta problemática, surge la necesidad de explorar adiciones naturales que puedan mejorar la resistencia y durabilidad del asfalto de manera sostenible, destacando el potencial del látex de caucho natural. En ciudades como Chiclayo, donde las lluvias intensas y altas temperaturas aceleran el desgaste, esta alternativa podría ser clave para una infraestructura más segura. Por ello, la presente investigación se enfoca en analizar la influencia de la adición de látex de caucho natural (LCN) en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente (MAC), aplicando porcentajes del 2.5%, 4.5% y 6.5% en peso del cemento asfáltico para dos tipos de tráfico: ligero y pesado. A través de la metodología Marshall, se determinó el contenido óptimo de asfalto, evaluando tanto las propiedades físicas como las mecánicas de las MAC convencionales y modificadas. Entre los resultados, la MAC modificada con el 2.5% de LCN destacó con una estabilidad de 3192.96 kg, fluencia de 34.38 mm, TSR de 82.68% e inmersión-compresión de 88.89% y, para la prueba de desgaste por cantabro, la MAC con 6.5% de LCN mostró un rendimiento superior, siendo un 40.08% más resistente que la MAC convencional.

**Palabras clave:** asfalto modificado, caucho natural, látex, Marshall, Lottman, Cantabro.

## Abstract

Flexible pavements face accelerated deterioration due to factors like constant traffic, heavy loads, and adverse weather conditions, leading to visible issues such as cracks and potholes that increase accident risks and compromise road safety. In light of this issue, there is a need to explore natural additives that can sustainably enhance asphalt's strength and durability, with natural rubber latex showing strong potential. In cities like Chiclayo, where heavy rains and high temperatures speed up pavement wear, this alternative could be key to building safer infrastructure. Therefore, this study focuses on analyzing the influence of natural rubber latex (NRL) additions on the physical and mechanical properties of hot mix asphalt (HMA), applying concentrations of 2.5%, 4.5%, and 6.5% by asphalt cement weight for two traffic types: light and heavy. Using the Marshall methodology, the optimal asphalt content was determined, evaluating both physical and mechanical properties in conventional and modified HMAs. Among the findings, the HMA modified with 2.5% NRL achieved a stability of 3192.96 kg, flow of 34.38 mm, TSR of 82.68%, and immersion-compression of 88.89%. For Cantabro wear testing, the HMA with 6.5% NRL demonstrated superior performance, being 59.92% more resistant than the conventional HMA.

**Keywords:** modified asphalt, natural rubber, latex, Marshall, Lottman, Cantabro.

## Introducción

En la actualidad, el desarrollo económico y social de cualquier país se ve significativamente impulsado por la presencia de una infraestructura vial sólida y efectiva. Sin embargo, enfrenta un problema crítico relacionado con el acelerado deterioro de los pavimentos flexibles en los últimos años [1]. Este problema no sólo supone un coste sustancial en términos de mantenimiento y reparación, sino que también ejerce un importante impacto en la seguridad vial y el medio ambiente [2]. El constante aumento de la aparición de patologías en los pavimentos flexibles, como grietas, baches y desprendimientos de la capa asfáltica, supone un importante reto tanto para las autoridades viales como para las empresas constructoras [3]. La anticipada deterioración no solo resulta en costos significativos, sino que también provoca congestión en las carreteras y aumenta la probabilidad de accidentes.

En Brasil, el transporte terrestre es vital para el crecimiento económico, principalmente a través de carreteras, que manejan el 61% de la carga y la mayoría de los viajes de pasajeros. Esto genera más de 1.5 millones de empleos directos y contribuye significativamente al PIB del sector de servicios no económicos [4]. En Perú, una gran parte del presupuesto anual se destina a la infraestructura de transporte, pero la falta de compromiso gubernamental para mantenerse al día con los avances en este campo es un desafío [5]. A nivel local, en Chiclayo, hay problemas de deterioro de la infraestructura vial que causan malestar en la comunidad y accidentes de tráfico, lo que afecta negativamente la eficiencia y seguridad del sistema vial [6].

A pesar de los avances tecnológicos en ingeniería civil, la investigación sobre adiciones naturales para mejorar mezclas asfálticas ha sido limitada. Las mezclas tradicionales con aglutinantes de petróleo generan un impacto ambiental considerable. La falta de opciones sostenibles en la construcción de vías agrava la crisis ambiental global [7]. Se ha sub explorado el uso de adiciones naturales como el látex de caucho natural, derivado del árbol *hevea brasiliensis*, en la construcción de pavimentos. En Perú, las comunidades nativas de la Amazonía usan el látex de *shiringa silvestre* para generar ingresos, lo que beneficia económicamente y contribuye a la preservación de la selva. La obtención de este látex es una actividad sostenible que promueve la conservación de los ecosistemas forestales y ayuda a almacenar dióxido de carbono [8].

Dada la problemática previamente mencionada, el objetivo principal de este proyecto de investigación es abordar la siguiente interrogante ¿De qué manera influye la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente?

Según A. Hazoor et al. [9], han observado una mejora significativa en la penetración del aglutinante al adicionar látex de caucho natural en concentraciones de entre el 1% y el 15%, alcanzando hasta 49.8 dmm. Sin embargo, se destaca que, al utilizar altos porcentajes de látex, es necesario aumentar la temperatura para lograr una mezcla adecuada, por lo que se recomienda una adición óptima. Por consiguiente, se espera que la presente investigación, utilizando los porcentajes establecidos de látex de caucho natural, no solo mejore la penetración y ductilidad del cemento asfáltico si no también las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, donde se evaluarán la densidad, el porcentaje de vacíos, la estabilidad, la fluencia, la pérdida por desgaste, la relación esfuerzo-tensión indirecta e inmersión – compresión, destacando que todos estos ensayos se llevarán a cabo utilizando muestras según la metodología Marshall.

El alegato de esta investigación es amplio y abarca varios aspectos. Desde una perspectiva económica, se busca optimizar el uso de recursos y acortar precios en la obra y sostenimiento de carreteras al incorporar látex de caucho natural en mezclas asfálticas, lo que puede mejorar la eficiencia y durabilidad de las infraestructuras. Desde una perspectiva social, el proyecto contribuirá a mejorar la calidad de las carreteras, lo que resultará en una mayor seguridad vial y comodidad para los usuarios, y podría generar oportunidades de empleo en la industria. En el ámbito teórico, la investigación ampliará el conocimiento en ingeniería civil al explorar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con látex de caucho, proporcionando una base sólida para investigaciones futuras. Desde una perspectiva ambiental, el proyecto promoverá la sostenibilidad al reducir la necesidad de aditivos químicos y promover el uso de materiales naturales, lo que a su vez puede contribuir a la conservación del medio ambiente.

Siendo el objetivo general, analizar la influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente. Objetivos específicos, definir las propiedades del material granular en la mezcla asfáltica de acuerdo con las especificaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), caracterizar la penetración y ductilidad del cemento asfáltico patrón y modificado con látex de caucho natural, determinar el contenido óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica patrón, empleando el Método Marshall, desarrollar el diseño de mezcla asfáltica modificada con el contenido óptimo de asfalto patrón, empleando el Método Marshall, analizar las propiedades físicas (densidad y vacíos) y mecánicas (estabilidad, fluencia, pérdida por desgaste, TSR e inmersión – compresión) de la mezcla asfáltica patrón y modificada y calcular el costo de fabricación de la mezcla asfáltica en caliente modificada.

## Revisión de literatura

### *Antecedentes*

P. Jitsangiam et al. [10] en Tailandia, en su investigación tuvo como objetivo estudiar la micro y macroestructura del aglutinante (tipo AC60-70) modificado con látex de caucho natural en un 3%, 7% y 12%. Donde utilizaron un mezclador mecánico de alta velocidad para combinar el aglutinante y el látex. Respecto a la macroestructura analizaron la penetración, punto de reblandecimiento, viscosidad, ductilidad y reómetro de cizallamiento dinámico, para el análisis de la microestructura observaron la microscopia electrónica de barrido, difracción de rayos X, calorimetría diferencia de barrido y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier. Los ensayos de la macroestructura del aglutinante modificado con látex natural de caucho, mostraron que en un 3% y 7% de látex reduce la penetración hasta 60 mm y 50 mm respectivamente, sin embargo, para un 12% del elastómero natural la penetración aumento considerablemente, el punto de reblandecimiento aumentó de manera ascendente para las tres adiciones del látex consecutivamente, la viscosidad aumentó a medida que se incrementa el porcentaje del látex, por lo que sugieren que no exceda del 7% debido que el aglutinante se vuelve inadecuado para su empleo en la construcción, los resultados de ductilidad indicaron que las muestras al 12% de látex es menor a comparación del 3% y 7% mostrando entre estos dos últimos porcentajes 150 cm de ductilidad, la prueba DSR mostró que la adición del elastómero natural aumentó la resistencia a la deformación del cemento asfáltico, y el ángulo de fase disminuyó a medida que incrementa la adición del látex natural de caucho. Los investigadores concluyen afirmando que la adición de látex de caucho natural altera las propiedades del aglutinante asfalto.

Hassan et al. [11] en Malasia, tienen por objetivo examinar las propiedades físicas y reológicas de un betún modificado con látex de caucho natural en 2.5%, 5.0%, 7.5% y 10% en peso del betún patrón. Analizaron la prueba de penetración, reblandecimiento, viscosidad, ductilidad, pérdida en la prueba de calentamiento y el ensayo de reómetro de cizallamiento dinámico (DSR). Los resultados demostraron que a medida que se incrementa el látex, disminuye la penetración y aumenta la viscosidad, obteniendo una penetración de 43 dmm para un 10% de látex, y por consiguiente, un mayor punto de ablandamiento de 49 dmm, respecto a la ductilidad, los resultados demuestran que el betún modificado con látex presenta una mayor ductilidad, de modo que, lo convierte resistente a la fisuración. Los investigadores concluyen afirmando la mejora de las propiedades reológicas y físicas para un cemento asfáltico de 60/70 PEN.

A. Abdunaser et al. [12] en Malasia, explica la necesidad de producir un aglutinante o betún modificado de tal manera que este resista al ahuellamiento, la fatiga y agrietamiento térmico, debido a que se ha demostrado que el betún usual bajo cargas de tráfico pesadas induce daños prematuros a los pavimentos, lo que se convierte en mayores gastos de mantenimiento y/o reparación de estas, por ende, consideran la necesidad de perfeccionar las propiedades del betún. Una de las formas de mejorar el betún tradicional, es la adición de polímeros, y con fines de reducir la contaminación ambiental, investigan los aportes del caucho natural. De los diferentes tipos de caucho natural utilizados, destaca el caucho natural líquido, donde al mezclarse con el betún produce un aglutinante más homogéneo mediante un despolimerizado. Respecto al comportamiento en las mezclas asfálticas, manifiestan que el efecto del látex de caucho natural aumenta la estabilidad dinámica y disminuye el ahuellamiento de la mezcla, e indican que con una adición del 4% mejora la estabilidad de Marshall.

S. Nisumanti et al. [13], realizan una investigación adicionando látex de caucho natural entre el 2% y 9% al asfalto convencional. Realizaron pruebas a los agregados, donde analizaron la granulometría, la abrasión y gravedad específica, de igual manera, para el asfalto examinaron la penetración, punto de inflamación, reblandecimiento y ductilidad. Respecto al asfalto, utilizaron un contenido de 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%, y para el látex de 3%, 5% y 9% en peso del aglutinante, para el análisis de la mixtura asfáltica en total realizaron la prueba de Marshall. La indagación demostró un contenido óptimo de asfalto del 6% mediante la prueba de Marshall, luego analizaron la estabilidad de la mezcla obteniendo el mayor resultado de 3249.7 para una adición del 9% de látex, en cambio para el flujo la adición del látex en un 9% a la mezcla lo caracteriza de menor fluidez, y para el índice de vacíos se obtuvo el menor valor de 3.885 para una adición del 9%. Finalmente, los investigadores concluyen afirmando el contenido óptimo de bitumen convencional del 6%, y con el aditamento del látex de caucho natural, las pruebas de Marshall determinaron que para un 3% es más resistente y flexible al asfalto convencional.

E. Mohammad et al. [14] explican que, en el país de Indonesia, agregaron látex entre el 2% y 9%, y de ceniza volante 4%, 5% y 6% con la intención de encontrar el contenido óptimo. Analizaron la estabilidad, flujo, cavidad entre agregados minerales (VMA), cavidad en la mezcla (VIM) y cociente de Marshall para un asfalto tipo 60/70. Los hallazgos de dicha investigación evidenciaron que, al aumentar la cantidad de látex añadido, aumenta el valor de estabilidad a 1104.72 kg, por ende, aumenta el contenido óptimo, de igual manera, para el valor de flujo. Respecto, a las cavidades la adición de látex de caucho natural aumenta el VMA, por último, el cociente de Marshall resulta un contenido óptimo de 7.5% de ligante, 8% de látex y

4% de cenizas volantes. En síntesis, el contenido óptimo de la mezcla asfáltica es, para el asfalto 7.5%, cenizas volantes 4% y 9% de látex de caucho natural del peso total de la muestra.

### ***Bases Teórico Científicas***

#### ***Látex de caucho natural***

La *Hevea brasiliensis*, conocida como caucho, es una valiosa fuente de materias primas que tienen un profundo impacto en el desarrollo industrial, económico y social. Esta planta se utiliza tanto en su forma líquida, conocida como látex de caucho, como en su forma sólida, para la elaboración de una extensa diversidad de servicios esenciales para la sociedad. Estos productos incluyen guantes industriales y quirúrgicos, mangueras, calzado, adhesivos, accesorios para automóviles y, quizás su aplicación más crítica, como neumáticos para una amplia gama de medios de transporte [15].

*Ilustración 1: Látex de caucho natural*

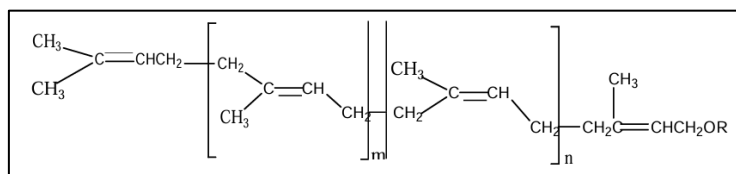


Fuente [15]

#### **Obtención, consolidación y preservación del látex**

En *Hevea brasiliensis*, los laticíferos forman una red de vasos junto al floema, distribuidos en capas desde la corteza al interior del árbol. Para extraer el látex, se realiza un corte diagonal en la corteza, liberando el látex por presión de turgencia.

*Ilustración 2: Estructura química del LCN*



Fuente [16]

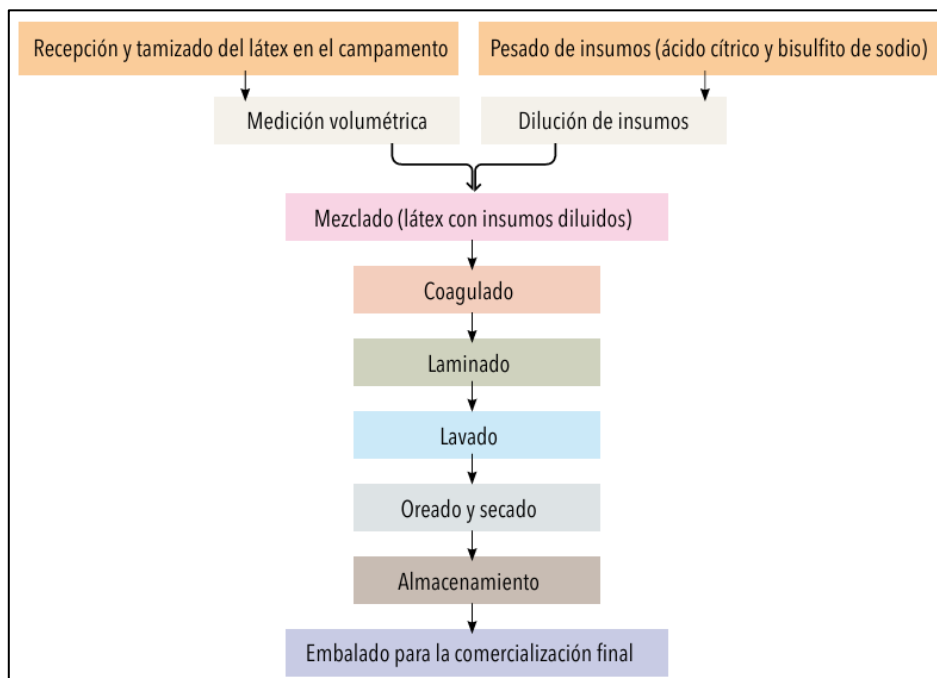
El látex obtenido de incisiones se recolecta en tazas con conservantes germicidas, como amoníaco, formaldehído o sulfuros, para prevenir su coagulación espontánea. El amoníaco es particularmente eficaz, pues evita la condensación y la fermentación del LCN, aunque el

hidróxido potásico también es útil por su efecto bactericida y estabilizador coloidal. La preservación del látex puede ser a corto plazo, para su procesamiento inmediato, o a largo plazo, cuando se requiere almacenamiento y transporte hacia el consumidor final. Para la preservación temporal, se emplean anticoagulantes antes de llevar el látex al centro de procesamiento [16].

### Proceso para producir laminas secas de látex

1. Tamizado. - El látex fresco se filtra en el campamento mediante un colador o malla para eliminar impurezas como coágulos, insectos y hojas [17].
2. Coagulado. - Para coagular el látex, se mezcla 1 litro de látex con agua en una bandeja. Luego, se añaden 50 ml de bisulfito de sodio y 100 ml de ácido cítrico, ambos previamente diluidos [17].
3. Laminado. - Una vez coagulado, el látex se retira y pasa cinco veces por la prensa laminadora, ajustando el grosor hasta lograr entre 1.5 y 2.0 mm [17].
4. Oreado y secado. - Tras el laminado, las láminas se cuelgan en un área ventilada y techada para un secado natural sin que los extremos se toquen [17].
5. Almacenamiento y embalaje. - Las láminas secas se almacenan en tarimas de madera en un lugar cerrado para evitar la humedad, antes de su traslado al centro de acopio [17].

Gráfico 1: Secuencia de técnicas para la elaboración de plancha de látex



Fuente [17]

### ***Mezclas asfálticas en caliente (MAC)***

Las MAC contienen aproximadamente 90% de áridos, 5% de polvo mineral y 5% de cemento asfáltico, combinados tras calentarse en plantas de producción. La calidad del pavimento depende de estos componentes, siendo el ligante asfáltico y el polvo mineral factores clave en su rendimiento y costo [19].

Los principales objetivos que un pavimento flexible debe satisfacer son los siguientes:

- La mezcla debe poseer la estabilidad necesaria para cumplir con los requisitos de servicio y las cargas del tráfico sin presentar deformaciones o movimientos.
- La presencia de una cantidad adecuada de asfalto es esencial para garantizar la durabilidad del pavimento, ya que este asfalto debe cubrir por completo las partículas de agregado pétreo, creando una capa impermeable y unida entre sí mediante una compactación adecuada.
- La mezcla debe tener la adecuada trabajabilidad para facilitar una operación constructiva eficiente durante la preparación de la mezcla y su compactación.
- La mixtura compactada debe tener una cantidad adecuada de espacios vacíos para mantener una reserva que evite la aparición de afloramientos de asfalto y la pérdida de estabilidad cuando se realice una compactación adicional mínima.

### ***Agregado pétreo***

Los materiales pétreos empleados en la elaboración de cualquier recubrimiento o combinación asfáltica deben tener la capacidad inherente de retener la capa de asfalto sin que esta se despegue debido a la influencia del agua y el tráfico. Dentro de estas especificaciones, se designará como material pétreo grueso a la parte de material retenida en el tamiz N.º 4, y como material pétreo fino a la porción que se encuentra entre los tamices N.º 4 y N.º 200 [20].

### ***Propiedades del agregado pétreo***

Las propiedades de mayor relevancia del material granular empleados en la edificación de calzadas incluyen:

#### **Tamaño y gradación**

Un aspecto fundamental del material granular empleado en las capas de base y superficie de las carreteras es cómo se distribuyen las partículas cuando se mezclan. La gradación de los agregados impacta en la densidad, resistencia y costos de la estructura del pavimento [19].

*Tabla 1: Requerimiento de gradación para mezclas asfálticas*

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25.0 mm (1")	100		
19.0 mm (3/4")	80 – 100	100	
12.5 mm (1/2")	67 – 85	80 – 100	
9.5 mm (3/8")	60 – 77	70 – 88	100
4.75 mm (N.º 4)	43 – 54	51 – 68	65 – 87
2.00 mm (N.º. 10)	29 – 45	38 – 52	43 – 61
425 µm (N.º. 40)	14 – 25	17 – 28	16 – 29
180 µm (N.º. 80)	8 – 17	8 – 17	9 – 19
75 µm (N.º. 200)	4 – 8	4 – 8	5 – 10

Fuente [20]

### **Durabilidad**

Capacidad del agregado pétreo para resistir los efectos perjudiciales causados por la presencia de iones de sodio (Na) o magnesio (Mg) en el entorno circundante, especialmente en el suelo o el agua subterránea. La exposición a altos niveles de sodio o magnesio puede provocar un fenómeno conocido como expansión-salinización, que puede afectar negativamente la estabilidad y durabilidad del pavimento asfáltico [19].

*Tabla 2: Requerimiento de durabilidad para el material granular*

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (al sulfato de magnesio) - AG	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Durabilidad (al sulfato de magnesio) - AF		-	18% máx.

Fuente [21]

### **Abrasión**

La abrasión del agregado pétreo evalúa su resistencia al desgaste por fricción e impacto, asegurando la durabilidad y calidad de las mezclas asfálticas para infraestructura vial [19].

*Tabla 3: Requerimiento de abrasión para el material granular*

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.

Fuente [21]

### **Partículas chatas y alargadas**

Los agregados tienen formas que dificultan una distribución uniforme, afectando la resistencia y durabilidad del pavimento. [19].

*Tabla 4: Requerimiento de partículas chatas y alargadas*

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.

Fuente [21]

### **Caras fracturadas**

Las caras fracturadas se refieren a las superficies de ruptura que se encuentran en los fragmentos de agregado. Estas son el resultado de procesos naturales o mecánicos durante la extracción, trituración o manipulación del material pétreo. Las caras fracturadas son deseables ya que proporcionan una mayor área de contacto entre el agregado y la pasta asfáltica [19].

*Tabla 5: Requerimiento de caras fracturadas para el agregado grueso*

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70

Fuente [21]

### **Sales solubles totales**

Las sales solubles son minerales que se disuelven fácilmente en agua, como cloruros, sulfatos y carbonatos. Su presencia puede causar problemas en pavimentos, como eflorescencia, corrosión y deterioro prematuro [19].

*Tabla 6: Requerimiento de sales solubles totales para el material granular*

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente [21]

### **Absorción**

La absorción es la capacidad del material pétreo para retener agua, lo cual puede afectar la adherencia con la mezcla asfáltica [19].

*Tabla 7: Requerimiento de absorción para el agregado grueso y fino*

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Absorción – AG	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.
Absorción – AF	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente [21]

### Equivalente de arena

Evalúa la proporción de partículas finas y limosas frente a partículas angulares y adecuadas, comparando su porcentaje en el agregado con el de una muestra de arena de referencia [19].

*Tabla 8: Requerimiento de equivalente arena para el agregado fino*

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de arena	MTC E 114	60	70

Fuente [21]

### Azul de metileno

El valor de azul de metileno mide la cantidad de materiales orgánicos en el agregado, ayudando a identificar su efecto en la sujeción y estabilidad de la mezcla asfáltica [19].

*Tabla 9: Requerimiento de azul de metileno para el agregado fino*

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8% máx.	8% máx.

Fuente [21]

### Índice de plasticidad

El índice de plasticidad del agregado fino mide su capacidad de deformación y refleja el contenido de arcilla, lo cual impacta propiedades de la mezcla asfáltica como la compactación y resistencia a la deformación [21].

*Tabla 10: Requerimiento de índice de plasticidad para el agregado fino*

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Índice de plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Índice de plasticidad (malla N.º 200)		4 máx.	NP

Fuente [21]

### ***Filler***

El filler es un elemento utilizado en las combinaciones asfálticas con el fin de corregir la distribución de partículas del material fino cuando no satisfacen las normativas técnicas necesarias. La cantidad requerida se establecerá durante la etapa de diseño de la mezcla, de acuerdo con el Método Marshall [20].

### ***Cemento asfáltico***

El asfalto, derivado del petróleo crudo, es un material viscoelástico usado en mixturas asfálticas en caliente, clasificado por su penetración o viscosidad según los estándares del proyecto y adaptado a las condiciones climáticas locales [22].

El cemento asfáltico, usado principalmente en la edificación de carreteras y pistas de aeropuertos, se mezcla con agregados para formar mezclas asfálticas que aportan estabilidad a las superficies pavimentadas. Calentado para reducir su viscosidad, permite una colocación y compactación eficientes. Su preferencia global sobre el hormigón se debe a sus menores costos, facilidad de construcción, reciclabilidad y mayor comodidad para los usuarios [22].

### ***Propiedades del cemento asfáltico***

Cuando se trata de cemento asfáltico, las propiedades que más impactan en su desempeño son las siguientes:

#### **Penetración**

La prueba de penetración se emplea para evaluar la firmeza o la consistencia relativa de un betún asfáltico. Implica medir cuánto profundiza verticalmente una aguja estandarizada en una muestra de asfalto bajo condiciones específicas de temperatura, carga y duración. A menos que se establezcan condiciones distintas, generalmente se asume que la medición de la penetración se realiza a 25 °C, utilizando una aguja con una carga de 100 gramos que se aplica durante 5 segundos. La penetración medida bajo estas condiciones se denomina penetración normal y se expresa en décimas de milímetro. Es esencial destacar que, a medida que el betún asfáltico se vuelve más blando, el valor de penetración obtenido en esta prueba tiende a aumentar [19].

#### **Ductilidad**

Es una propiedad que mide la capacidad del asfalto para estirarse o deformarse antes de romperse o agrietarse. En otras palabras, es la cabida del asfalto para soportar la deformación o elongación antes de sufrir daños. Esta propiedad es importante en la industria de la construcción de carreteras y pavimentos, ya que el asfalto debe ser capaz de resistir las tensiones

y deformaciones causadas por el tráfico vehicular y las variaciones de temperatura sin agrietarse o romperse [19].

*Tabla 11: Distinción del bitumen asfáltico por penetración*

Tipo		Grado	
Grado	Ensayo	PEN 60-70	
		Mín.	Máx.
Pruebas sobre el material bituminoso			
Penetración a 25°C, 100g, 5s, 0.1mm	MTC E 304	60	70
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100	

Fuente [21]

### *Diseño de las MAC – Método de Marshall*

El método Marshall, se utiliza para diseñar mezclas asfálticas de pavimentación. Originalmente desarrollado para agregados de hasta 25 mm, luego se adaptó para tamaños de hasta 38 mm. Utiliza probetas de 64 mm de altura y 102 mm de diámetro, preparadas mediante calentamiento, mezcla y compactación controlada.

El método de diseño incluye el análisis de densidad y vacíos, y la evaluación de estabilidad y fluidez en muestras compactadas. La estabilidad mide la resistencia máxima a 60 °C, mientras que la fluidez indica el desplazamiento total hasta el punto de máxima carga [22].

### **Criterios para una MAC**

Es necesario definir los estándares que se utilizarán para la producción de la mezcla asfáltica en caliente.

- Proporción de cavidad de aire en la mezcla total
- Proporción de cavidad llenados con el asfalto
- Proporción mínimo de vacíos en el material granular
- Valor mínimo de la estabilidad
- Categorías de contorno de fluencia

Estos estándares deben adaptarse de acuerdo con la categoría de tráfico definida (liviano, mediano y pesado).

*Tabla 12: Tipo e intensidades de tráfico*

Tipo de tráfico	Intensidad de tráfico
Tráfico liviano (C)	ESALs < 10 <sup>4</sup>
Tráfico mediano (B)	10 <sup>4</sup> < ESALs < 10 <sup>6</sup>
Tráfico pesado (A)	ESALs > 10 <sup>6</sup>

Fuente [20]

### Especificaciones de la metodología Marshall

La selección del nivel apropiado de contenido de asfalto se basa en varios criterios. Para iniciar el proceso de diseño, se elige una proporción de asfalto que esté dentro del categoría promedio de cavidades de aire. Luego, todas las propiedades medidas y calculadas en función de este contenido de asfalto se comparan con los estándares de diseño de las mezclas. Si se cumplen todos los criterios, se establecerá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica. Si alguno de los parámetros no se satisface, será necesario efectuar ajustes o deliberar el diseño de la mezcla [21].

Tabla 13: Especificaciones para la MAC

Parámetro de diseño	Clase de mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
Estabilidad (mínimo)	8.15 kN	5.44 kN	4.53 kN
Flujo 0.01" (0.25 mm)	8 – 14	8 – 16	8 – 20
Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 205)	3 – 5	3 – 5	3 – 5
Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 14		
Inmersión – Compresión			
1. Resistencia a compresión MPa mínima	2.1	2.1	1.4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm)	1.700 – 4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	80 mín.		

Fuente [21]

Tabla 14: Requerimiento de VMA

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	
2.36 mm (N.º8)	21	-
4.75 mm (N.º4)	18	-
9.50 mm (3/8")	16	15
12.5 mm (1/2")	15	14
19.0 mm (3/4")	14	13
25.0 mm (1")	13	12
37.5 mm (1 ½")	12	11
50.0 mm (2")	11.5	10.5

Fuente [21]

### ***Propiedades físicas de las MAC***

Cuando evaluamos la conducta de la mezcla asfáltica, es fundamental considerar las relaciones de volumen entre el asfalto y los elementos del agregado. En términos más breves, esto se centra en los aspectos relacionados con el volumen de la combinación asfáltica. Las características volumétricas de una mezcla de pavimento compactado, como las cavidades de aire ( $V_a$ ), las cavidades en el material granular (VMA), las cavidades llenas de betún (VFA) y la capacidad de betún efectivo ( $P_{be}$ ), ofrecen información sobre la conducta esperada de la mezcla asfáltica. Para dominar la decisión sobre la elección del diseño de mixturas asfálticas, es fundamental comprender las definiciones y los métodos analíticos. Esta información es relevante tanto para las mezclas creadas en entornos de laboratorio como para las muestras de asfalto extraídas en el campo [23].

#### **Densidad y vacíos**

El material granular presenta porosidad y tiene la capacidad de impregnar agua y asfalto en diversos grados. Asimismo, la relación entre la absorción de agua y asfalto varía según la muestra de material granular. Los tres procedimientos para evaluar la densidad del agregado tienen en cuenta estas variaciones. Estos procedimientos incluyen la densidad específica neta, la densidad aparente y la densidad efectiva [23].

- Densidad relativa neta ( $G_{sb}$ ): La correlación entre la aglomeración de aire presente en un cuerpo de una materia penetrable, que incluye tanto los espacios penetrables como los impenetrables dentro del material, a una temperatura específica, en comparación con la masa de aire en un volumen de densidad igual al del agua sublimada a una temperatura transmitida [23].

- Densidad relativa aparente ( $G_{sa}$ ): La correlación entre la aglomeración de aire en un cuerpo de un material que no permite la permeación, a una temperatura específica, en comparación con la masa de aire en un volumen de densidad igual al del agua sublimada a una temperatura transmitida [23].

- Densidad relativa efectiva ( $G_{se}$ ): La correlación entre la aglomeración de aire en un cuerpo de un material que permite la permeación, excluyendo los espacios penetrables de asfalto, a una temperatura específica, en comparación con la aglomeración de aire en un volumen de densidad semejante al del agua sublimada a una temperatura transmitida [23].

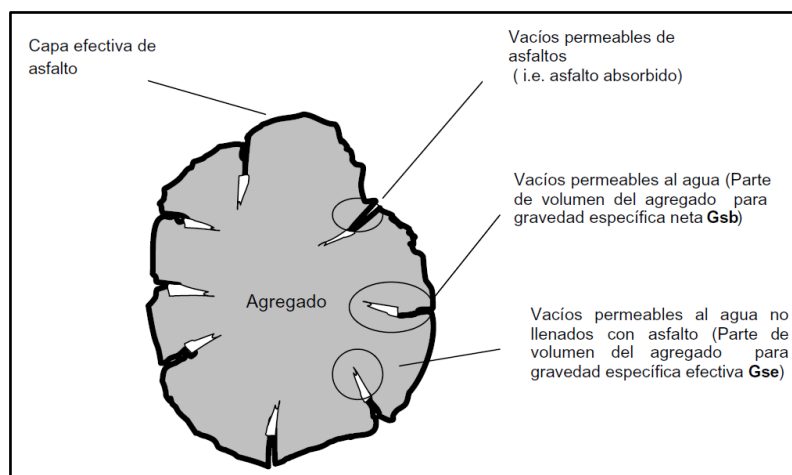
- Cavidad en el agregado mineral (VMA): La cantidad de área vacía que existe entre las fracciones del material granular en una combinación asfáltica compactada, abarcando las

cavidades de aire y la capacidad de ligante efectivo, se expresa como una proporción del corpóreo total de la muestra [23].

- Capacidad de asfalto efectivo ( $P_{be}$ ): La capacidad completa de ligante en una combinación asfáltica, restando la cantidad de ligante que ha sido absorbida por las fracciones del material granular [23].
- Cavidad de aire ( $V_a$ ): El cuerpo general de los espacios de aire diminutos situados entre las fracciones cubiertas del corpóreo granular en una composición de asfalto consistente, se representa como una proporción del volumen deducido de la composición de pavimento compactado [23].
- Cavidad llenados con asfalto (VFA): La parte del área vacía entre las fracciones del material granular, que está ocupada por el hormigonado positivo, se calcula como la fracción de  $(VMA - V_a)$  con relación al VMA y se expresa como tal [23].

El proceso de diseño de mezclas valora el VMA para las mixturas de asfalto en función de la densidad definida neta de los materiales granulares,  $G_{sb}$ . Las cavidades dentro del material granular (VAM) y las cavidades de aire ( $V_a$ ) se enuncian como un porcentaje de la masa total de la combinación asfáltica. Por otro lado, las cavidades llenas de asfalto (VFA) representan la proporción del espacio dentro del VAM que ha sido establecido por el ligante efectivo. La forma de expresar la cantidad de asfalto efectivo varía dependiendo de las especificaciones, ya que puede indicarse como un porcentaje del peso total de la combinación asfáltica o como una proporción del peso del material granular en la mezcla asfáltica. Dado que las cavidades de aire, VAM y VFA se miden en términos de volumen, el diseño o análisis inicial de la combinación asfáltica se realiza considerando el volumen. Para fines de diseño, esta perspectiva basada en el volumen se puede adaptar fácilmente para lograr un diseño basado en el peso [23].

*Ilustración 3: Parámetros físicos de una MAC*



Fuente [23]

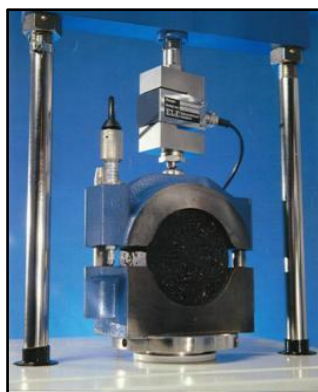
## *Propiedades mecánicas de las MAC*

### **Estabilidad y fluencia**

La estabilidad Marshall evalúa la resistencia máxima de una mezcla asfáltica a la deformación bajo carga, influida por el tipo y cantidad de agregados y asfalto. El flujo Marshall mide la deformación durante la prueba de estabilidad, con rangos tolerables que indican si la mezcla es demasiado plástica o rígida [21].

Para el diseño de una mezcla, se promedian los resultados de estabilidad y fluidez de al menos tres muestras por cada incremento del 0.5% en el contenido de aglutinante, ajustando el rango basado en experiencia previa o mediante prueba y error para lograr las propiedades deseadas [21].

*Ilustración 4: Ensayo Marshall*

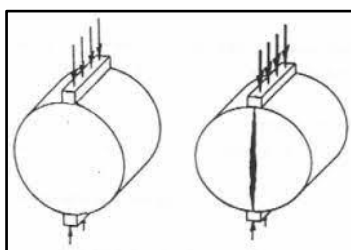


Fuente [19]

### **Razón del esfuerzo a tensión indirecta**

Este procedimiento mide cambios en la resistencia a la tensión en mezclas asfálticas expuestas a agua y ciclos de congelación-descongelación, ayudando a predecir el desprendimiento a largo plazo y evaluar la efectividad de aditivos anti-desprendimiento [21].

*Ilustración 5: Ensayo de TSR*



Fuente [19]

**Inmersión – Compresión**

Este ensayo mide la pérdida de estabilidad en mezclas bituminosas por acción del agua, comparando la resistencia a compresión entre probetas curadas al aire y saturadas. También ayuda a determinar el contenido óptimo de asfalto residual en mezclas específicas de áridos [21].

**Pérdida por desgaste – Cantabro**

Es una prueba de laboratorio utilizada para evaluar la resistencia al desgaste de las mixturas asfálticas en caliente. Este ensayo mide la pérdida de masa que experimenta una muestra de mezcla asfáltica cuando es sometida a situaciones controladas de abrasión y desgaste, simulando los escenarios de tráfico y clima que la mezcla puede experimentar en servicio. La pérdida de masa se utiliza como un indicador de la durabilidad y la resistencia de la mixtura asfáltica [21].

## **Materiales y métodos**

### ***Tipo y nivel de investigación***

Según el entorno de la indagación, se trata de un estudio de carácter experimental. Esto se debe a que la hipótesis se confirma a través de la manipulación controlada de las variables por parte del investigador, esta manipulación intencionada busca formar una dependencia de causa y efecto en un fenómeno físico específico. En este contexto, la hipótesis se considera válida cuando la alteración de la variable independiente (adición de látex de caucho natural), genera cambios en la conducta de la variable dependiente (propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente). La variación de los porcentajes de látex de caucho natural es fundamental para alcanzar el objetivo vital de la indagación, que es analizar la influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.

Según el propósito que se persigue, esta investigación es de naturaleza aplicada, ya que su objetivo principal es comprender, intervenir, construir y cambiar una situación problemática específica. En lugar de enfocarse en la creación de conocimiento de valor universal, su principal interés radica en la aplicación directa para abordar una problemática concreta [24].

### ***Población, muestra y muestreo***

**Población:** Se refiere al grupo de elementos que son el foco de estudio y sobre los cuales se realizarán experimentos o intervenciones para alcanzar un objetivo específico. La población en este contexto se caracteriza por ser el grupo que se investigará con el propósito de aplicar o implementar los resultados de la investigación en una situación práctica, por ende, está constituido por las composiciones asfálticas en caliente agregando látex de caucho natural, como lo indica las tablas establecidas.

#### **Muestra:**

##### **▪ Caracterización del cemento asfáltico modificado**

Se establece por la cantidad de especímenes que se tendrá para cada una de las pruebas del cemento asfáltico.

Para el objetivo actual de la investigación y basándonos en el análisis de antecedentes, y considerando que son parámetros directamente relacionados con el desempeño mecánico de una MAC, se evaluarán la penetración y ductilidad del cemento asfáltico estándar (CAP) PEN 60/70 y del cemento asfáltico modificado con látex de caucho natural en proporciones de 2.5%,

4.5% y 6.5%. En total, son 04 muestras para determinar la penetración y 04 muestras para el ensayo de ductilidad (Tabla 15).

*Tabla 15: Muestras para ensayos del cemento asfáltico*

<b>Ensayos al cemento asfáltico (CA)</b>		
<b>Muestras (MTC E 301)</b>	<b>Penetración (MTC E 304)</b>	<b>Ductilidad (MTC E 306)</b>
CAP	01	01
CAP + 2.5% LCN	01	01
CAP + 2.5% LCN	01	01
CAP + 2.5% LCN	01	01
<b>Total</b>	<b>04</b>	<b>04</b>

Fuente: Desarrollo propio

- **Propiedades físico-mecánicas de las MAC**

Se establece en función de los antecedentes y normativas que especifican la cantidad de briquetas requerida para cada prueba, teniendo en cuenta la incorporación de látex de caucho natural en proporciones del 2.5%, 4.5% y 6.5% con relación al peso del cemento asfáltico.

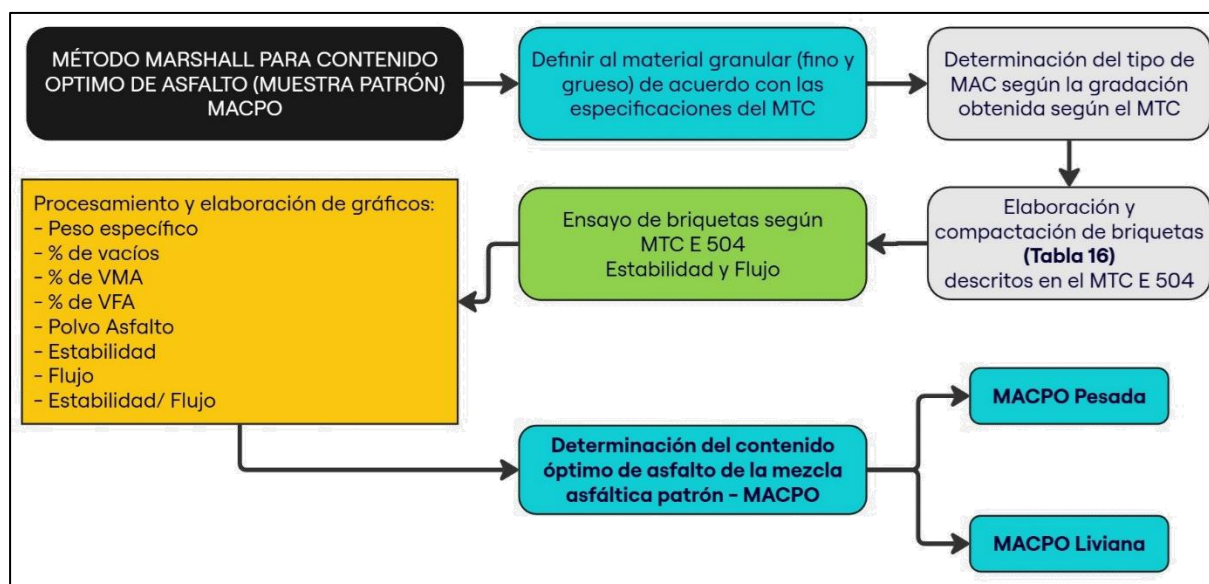
Para evaluar la cohesión y capacidad de flujo de las mixturas asfálticas en caliente (MAC), se empleará el procedimiento Marshall, de acuerdo con lo señalado por la norma MTC E 504. Dicha regulación, conforme a lo estipulado por los antecedentes basados en la norma ASTM D 6927, exige disponer de al menos 3 briquetas para cada variación en el contenido de aglutinante, con incrementos de 0.5% en dicho contenido. Aunque la norma establece un mínimo de briquetas, para esta investigación se utilizarán 5 briquetas con el fin de mejorar la precisión en la determinación del contenido de asfalto y reducir el margen de error. Por lo tanto, se emplearán 50 briquetas (ver Tabla 15) para establecer la cantidad óptima de betún base sin la adición de LCN. Estas se distribuirán en cinco niveles de asfalto, los cuales serán calculados siguiendo criterios específicos. De estas, 25 se someterán a pruebas de carga liviana (C), mientras que los 25 restantes se emplearán en pruebas de carga pesada (A).

*Tabla 16: Muestras para establecer el contenido óptimo de ligante*

<b>Ensayos a la MAC Patrón</b>	
<b>Muestras</b>	<b>Estabilidad y Fluencia (MTC E 504)</b>
MAC (4.0% CA)	05
MAC (4.5% CA)	05
MAC (5.0% CA)	05
MAC (5.5% CA)	05
MAC (6.0% CA)	05
<b>Total</b>	<b>25</b>
<b>Tráfico A y C</b>	<b>50</b>

Fuente: Desarrollo propio

Ilustración 6: Esquema de determinación del contenido óptimo de betún de MAC patrón



Fuente: Desarrollo propio

Una vez establecido la proporción óptima de bitumen en la mezcla, se procederá a evaluar las mezclas asfálticas modificadas, incorporando 2.5%, 4.5% y 6.5% de látex de caucho natural en peso del cemento asfáltico, es decir, un total de 64 briquetas (ver Tabla 17).

En cuanto a la medición de la razón del esfuerzo a tensión indirecta, se llevará a cabo conforme a las directrices de la norma MTC E 512. Esta norma establece la necesidad de disponer de al menos 6 muestras tanto para la combinación asfáltica en caliente en su configuración óptima en cuanto a contenido de asfalto, como para la variante modificada con látex de caucho natural, en este proceso, se someterán a prueba un total de 64 briquetas (ver Tabla 17), considerando ambas condiciones de tráfico.

Además, se llevará a cabo el ensayo de pérdida por desgaste por Cántabro conforme a la norma MTC E 515. Este ensayo se realizará utilizando un total de 32 briquetas de mezcla asfáltica (ver Tabla 17), divididas en dos grupos: 16 briquetas serán evaluadas bajo condiciones simuladas de tráfico liviano y las otras 16 briquetas bajo condiciones de tráfico pesado. Este procedimiento permitirá obtener una comprensión detallada del comportamiento de las mezclas asfálticas frente al desgaste en diferentes escenarios de carga y uso.

Paralelamente, se ejecutará la prueba de inmersión-compresión para comprobar la resistencia retenida de la mezcla asfáltica, siguiendo los lineamientos de la norma MTC E 518. Para este ensayo, se prepararán un total de 64 briquetas (ver Tabla 17), igualmente distribuidas en dos categorías: 32 briquetas para tráfico liviano y 32 briquetas para tráfico pesado. Este ensayo es primordial para evaluar la durabilidad y la capacidad de la mixtura asfáltica para mantener su

integridad estructural cuando está expuesta a condiciones de humedad prolongada, un factor crítico en la vida útil de las pavimentaciones.

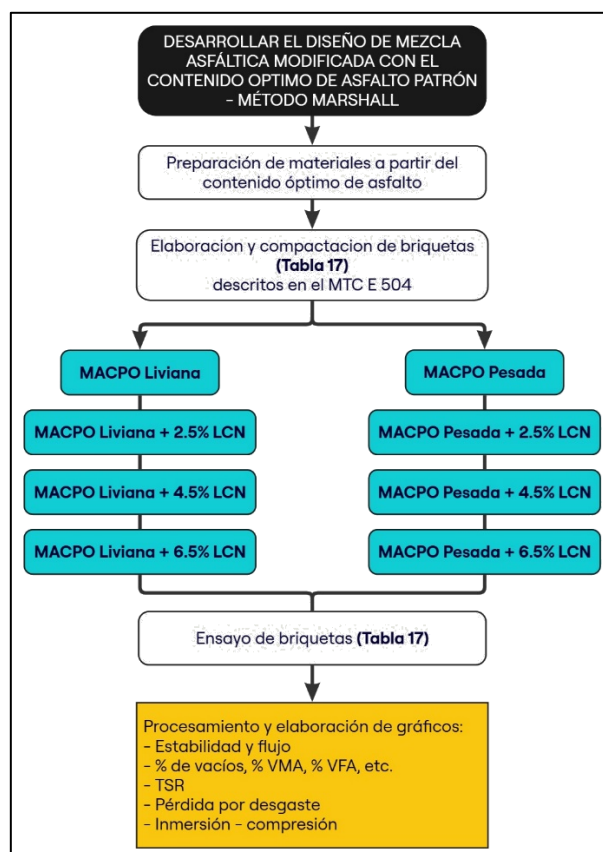
Tabla 17: Muestras de ensayos a la MAC patrón y modificada

Ensayos a la MAC patrón y modificada				
Muestras	Estabilidad y Fluencia (MTC E 504)	TSR (MTC E 522)	Pérdida por Desgaste (MTC E 515)	Inmersión – Compresión (MTC E 518)
MACPO	08	08	04	08
MACPO + 2.5% LCN	08	08	04	08
MACPO + 4.5% LCN	08	08	04	08
MACPO + 6.5% LCN	08	08	04	08
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>32</b>
<b>Tráfico A y C</b>	<b>64</b>	<b>64</b>	<b>32</b>	<b>64</b>

Fuente: Desarrollo propio

En total, se tendrán 08 muestras para ensayar el cemento asfáltico y 274 briquetas para ensayar las mezclas asfálticas compactadas.

Ilustración 7: Esquema del desarrollo de las MAC modificadas con el contenido óptimo de betún patrón



Fuente: Desarrollo propio

### ***Criterio de selección***

Se seleccionaron materiales granulares finos de la cantera "La Victoria" y gruesos de 1/2" de la cantera "Tres Tomas" en Lambayeque, cumpliendo con los estándares del MTC.

Para el material de relleno, se optará por utilizar cemento Portland Tipo I de uso común, que se adquirirá en una tienda comercial o ferretería de elección.

Para el ligante asfáltico tipo PEN 60/70, así como para el ligante asfáltico modificado con látex de caucho natural y sus ensayos de caracterización, la provisión es realizada por el laboratorio MASTERLEM S.A.C.

*Ilustración 8: Ficha de procedencia del ligante asfáltico - PEN 60/70*

	<b>MASTERLEM S.A.C.</b> LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES RUC 20506076235 Dirección: Av. Circunvalación Mz. "B", Lote 1, Int. 1 Huachipa – Lima – Perú Teléfono: 950 270 955 – 01 5407661 Web: www.masterlem.com.pe Email: servicios@masterlem.com.pe													
	<table> <tr> <td>Solicitante</td> <td>: Alex Junior Roa Bernal</td> </tr> <tr> <td>Nombre del proyecto</td> <td>: Influencia del látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente</td> </tr> <tr> <td>Muestra</td> <td>: Asfalto patrón PEN 60/70</td> </tr> <tr> <td>Procedencia</td> <td>: Refinería Conchán (PetroPerú)</td> </tr> <tr> <td>Fecha de recepción</td> <td>: 2024-05-29</td> </tr> <tr> <td>Fecha de ensayo</td> <td>: 2024-05-30</td> </tr> <tr> <td>Fecha de emisión</td> <td>: 2024-05-31</td> </tr> </table>		Solicitante	: Alex Junior Roa Bernal	Nombre del proyecto	: Influencia del látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente	Muestra	: Asfalto patrón PEN 60/70	Procedencia	: Refinería Conchán (PetroPerú)	Fecha de recepción	: 2024-05-29	Fecha de ensayo	: 2024-05-30
Solicitante	: Alex Junior Roa Bernal													
Nombre del proyecto	: Influencia del látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente													
Muestra	: Asfalto patrón PEN 60/70													
Procedencia	: Refinería Conchán (PetroPerú)													
Fecha de recepción	: 2024-05-29													
Fecha de ensayo	: 2024-05-30													
Fecha de emisión	: 2024-05-31													

Fuente: MASTERLEM S.A.C Informe de ensayo OE24-1062401

La adquisición del látex de caucho natural de la especie *Hevea Brasiliensis* se llevará a cabo mediante la compra a la Cooperativa Ecomusa, de la región de Madre de Dios.

*Ilustración 9: Rasgado del árbol*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 10: Recolección del látex*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 11: Coagulado de látex*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 12: Oreado y secado del látex*



Fuente: Desarrollo propio

En la selección del porcentaje adecuado de látex de caucho natural, se consideraron diversas fuentes bibliográficas y experiencias previas. Tras un análisis exhaustivo, se decidió trabajar con porcentajes de 2.5%, 4.5% y 6.5% de látex de caucho natural. Se optó por no incluir porcentajes superiores al 7% debido a problemas de trabajabilidad observados en estudios anteriores, los cuales podrían afectar negativamente el rendimiento y la aplicabilidad práctica del material en la pavimentación.

*Operacionalización de variables*

*Tabla 18: Operacionalización de variables independiente y dependiente*

VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR	UNID. DE MEDIDA	RANGO DE APLICACIÓN	MÉTODO DE MEDICIÓN
Adición del latex de caucho natural	Adición del látex de caucho natural	kg	2.5%, 4.5% y 6.5% en peso del cemento asfáltico	Recipiente graduado

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	UNID. DE MEDIDA	MÉTODO DE MEDICIÓN
<b>Propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente</b>	Caracterización del cemento asfáltico modificado	Penetración	0.1 mm	Penetración de los materiales bituminosos (MTC E 304)
		Ductilidad	cm	Ductilidad de los materiales bituminosos (MTC E 306)
	Propiedades físicas	Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	Gravedad específica aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes parafinados (MTC E 506)
		Vacios	%	Porcentaje de vacíos de aire en mezclas bituminosas compactadas densas y abiertas (MTC E 505)
	Propiedades mecánicas	Estabilidad	kN	Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall (MTC E 504)
		Fluencia	mm	
		Razon del esfuerzo a tensión (TSR)	-	Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad (MTC E 522)
		Inmersión - Compresión	%	Efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas asfálticas bituminosas compactadas (MTC E 518)
		Pérdida por desgaste	%	Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cantabro de pérdida por desgaste (MTC E 515)

Fuente: Desarrollo propio

*Tabla 19: Operacionalización de variables intervinientes*

VARIABLES INTERVINIENTES	UNID. DE MEDIDA	VALOR
Tipo de latex de caucho natural	kg	Hevea Brasiliensis
Tipo de cemento asfáltico	lt	PEN 60/70
Tipo de cemento portland (Filler)	kg	Tipo I
Tamaño máximo de la piedra	pulg	1/2
Nivel de tráfico	ESAL	A y C

Fuente: Desarrollo propio

### *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

**Experimentos:** Se refiere a la control y ajuste de las variables en diversos experimentos de laboratorio, centrándose específicamente en los ensayos llevados a cabo en el cemento asfáltico y las mezclas en caliente.

**Análisis de contenido:** Los resultados de los diversos ensayos se analizan a través de la información recopilada en fuentes bibliográficas y antecedentes. Cada resultado de laboratorio se registra en formatos específicos diseñados para cumplir con los estándares de las normativas, con el fin de obtener respuestas o conclusiones de cada prueba.

### *Procedimientos*

#### *Ensayos del material granular*

#### *Durabilidad del agregado grueso y fino*

Este método mide la desintegración de los áridos en soluciones saturadas de sulfato durante 16 a 18 horas, cubriendo toda la muestra.

**Normativa:** MTC E 209, basado en la norma NTP 400.016.

#### **Equipos, materiales y reactivos:**

- Tamices NTP 350.001.
- Envases con capacidad 5 veces mayor al volumen de la muestra.
- Balanzas: 500 g/0.1 g para agregado fino y 5000 g/1 g para grueso.
- Horno: 105°C a 110°C.
- Soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio: 350 g de sal anhidra en agua a 25°C-30°C.

#### **Muestra:**

- **Agregado fino:** La muestra se tamizará con un tamiz de 9.50 mm, asegurando al menos 100 g y un 5% de material retenido en cada tamiz.

*Tabla 20: Tamices normalizados para el agregado fino*

<b>Pasa el tamiz normalizado</b>	<b>Retenido sobre el tamiz normalizado</b>
600 $\mu\text{m}$ (N° 30)	300 $\mu\text{m}$ (N° 50)
1.18 mm (N° 16)	600 $\mu\text{m}$ (N° 30)
2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)
4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)
9.50 mm (3/8")	4.75 mm (N° 4)

Fuente: [20]

El agregado fino se lava en un tamiz de 300  $\mu\text{m}$  (N°50), se seca a 105°C-110°C hasta peso constante y luego se tamiza para separar por tamaños.

- **Agregado grueso:** El material retenido en el tamiz de 4.75 mm (N°4) se ensayará siguiendo el procedimiento para agregado fino.

*Tabla 21: Tamices normalizados para el agregado grueso*

<b>Tamaño</b>	<b>Peso en g</b>
<b>Consistiendo en:</b>	
9.5 mm (3/8") a 4.75 mm (N° 4)	300 $\pm$ 5
19.0 mm (3/4") a 9.5 mm (3/8")	1000 $\pm$ 10
<b>Consistiendo en:</b>	
Material de 12.5 mm (1/2") a 9.5 mm (3/8")	300 $\pm$ 5
Material de 19.0 mm (3/4") a 12.5 mm (1/2")	670 $\pm$ 10
37.5 mm (1 1/2") a 19.0 mm (3/4")	1500 $\pm$ 50
<b>Consistiendo en:</b>	
Material de 25.0 mm (1") a 19.0 mm (3/4")	500 $\pm$ 30
Material de 37.5 mm (1 1/2") a 25.0 mm (1")	1000 $\pm$ 50
63.0 mm (2 1/2") a 37.5 mm (1 1/2")	5000 $\pm$ 300
<b>Consistiendo en:</b>	
Material de 50.0 mm (2") a 37.5 mm (1 1/2")	2000 $\pm$ 200
Material de 63.0 mm (2 1/2") a 50 mm (2")	3000 $\pm$ 300
Para tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en incrementos de 25.0 mm (1") para cada fracción	7000 $\pm$ 1000

Fuente: [20]

El agregado grueso se lava, se seca a 105°C-110°C hasta peso constante y se tamiza para separarlo por tamaños.

### **Procedimiento**

- Las muestras se sumergen en solución de sulfato de magnesio durante 16 a 18 horas, cubriéndolas al menos 1.5 cm.
- Tras la inmersión, se dejan escurrir 15  $\pm$  5 minutos y se secan en horno a 105°C-110°C hasta peso constante.

### Cálculos:

- Al finalizar el período y enfriar el espécimen, se lava cada parte para separar el sulfato de magnesio.
- Luego, se seca cada fracción a 105°C-110°C hasta peso invariable y se registra. El árido fino se tamiza en el mismo tamiz utilizado previamente, mientras que el árido grueso se tamiza según las dimensiones de partícula correspondientes.

*Ilustración 13: Solución de sulfato de magnesio*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 14: Inmersión de las muestras en solución*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 15: Lavado de las muestras*



Fuente: Desarrollo propio

### *Abrasión Los Ángeles*

Este método mide la degradación de agregados minerales por abrasión y aplastamiento en un tambor rotativo con esferas de acero. Después de un número concreto de revoluciones, se tamiza el agregado para determinar la proporción de pérdida.

**Normativa:** NTP 400.019.

### **Equipos:**

- Máquina de Los Ángeles para pruebas.

- Carga: canicas de acero de 46.8 mm de diámetro, peso entre 390 g y 445 g.

### Muestra:

- Lavar, secar la muestra a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta peso constante, separar fracciones y recombinar ajustando la gradación del agregado.

Tabla 22: Cantidad de muestra para gradación de ensayo

Medida del tamiz		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido	A	B	C	D
37.5 mm (1 ½")	25.0 mm (1")	1250 ± 25	-.-	-.-	-.-
25.0 mm (1")	19.0 mm (¾")	1250 ± 25	-.-	-.-	-.-
19.0 mm (¾")	12.5 mm (½")	1250 ± 10	2500 ± 10	-.-	-.-
12.5 mm (½")	9.5 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	-.-	-.-
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (¼")	-.-	-.-	2500 ± 10	-.-
6.3 mm (¼")	4.75 mm (N° 4)	-.-	-.-	2500 ± 10	-.-
4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	-.-	-.-	-.-	5000
<b>TOTAL</b>		<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>	<b>5000 ± 10</b>

Fuente: [20]

### Procedimiento:

- Rotar el espécimen y carga en el aparato de Los Ángeles a 30-33 rpm por 500 revoluciones.
- Separar con tamiz de 1.70 mm, lavar el material retenido y secar a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  para medir su masa.

### Cálculos:

- Deducir el desgaste como porcentaje de la diferencia de masa final e inicial.

Ilustración 16: Pesado de agregado grueso



Fuente: Desarrollo propio

Ilustración 17: Disposición del árido



Fuente: Desarrollo propio

### Partículas chatas y alargadas del agregado grueso

Este procedimiento identifica el porcentaje de partículas planas, alargadas o planas-alargadas en agregados gruesos y verifica su conformidad con especificaciones.

**Normativa:** ASTM D 4791.

**Equipos:**

- Tamices para clasificar partículas.
- Balanza para pesaje.
- Recipientes metálicos para almacenar muestras.

**Muestra:**

- Dividir el material hasta obtener cerca de 25 kg.
- Apilarlo en forma de cono y extenderlo para crear un cono truncado de 15 a 20 cm de altura.
- Fraccionar el cono en 4 partes y seleccionar 2 opuestas para la muestra; si supera el peso, reducir la cantidad mediante cuarteos sucesivos.
- Tamizar la muestra con una malla N° 4, recogiendo el material retenido y desechando lo que atraviesa la malla.

*Tabla 23: Masa mínima de la muestra de ensayo de partículas chatas y alargadas*

Tamaño nominal máximo Aberturas cuadradas		Masa mínima de la muestra de ensaye	
mm	pulgadas	Kg	lb
9.5	3/8	1	2
12.5	1/2	2	4
19.0	3/4	5	11
25.0	1	10	22
37.5	1 1/2	15	33
50	2	20	44
63	2 1/2	35	77
75	3	60	130
90	3 1/2	100	220
100	4	150	330
112	4 1/2	200	440
125	5	300	660
150	6	500	1100

Fuente [21]

**Procedimiento:**

- Si se requiere la masa, secar la muestra a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta peso constante; si se cuenta partículas, el secado no es obligatorio.
- Cribar el árido grueso con material de malla de 9,5 mm (3/8 in) o 4,75 mm (No. 4), reduciendo cada fracción al menos un 10% hasta obtener unas 100 partículas por fracción.

**Cálculos:**

- Se establece el porcentaje de partículas estiradas en función de la masa del espécimen de ensayo, utilizando la siguiente fórmula:

*Ecuación 1: Porcentaje de masa de partículas con forma alargada*

$$Ca = \left(\frac{ma}{M}\right) \times 100$$

Fuente: [21]

Donde:

Ca = Porcentaje en masa de partículas alargadas (%)

ma = Masa de las partículas alargadas en cada muestra de ensayo, medida en gramos.

M = Masa total de cada muestra de prueba, expresada en gramos.

- Se establece la proporción de partículas alargadas en relación con la masa del espécimen de ensayo mediante la siguiente fórmula:

*Ecuación 2: Porcentaje de masa de partículas con forma achatada*

$$Cp = \left(\frac{me}{M}\right) \times 100$$

Fuente: [21]

Donde:

Ca = Porcentaje en masa de partículas achatadas (%)

Ma = Masa de partículas achatadas en cada muestra de ensayo, en gramos.

M = Masa total de cada muestra de prueba, en gramos.

*Ilustración 18: Selección de las formas del agregado*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 19: Conformación de las masas en función de la forma*



Fuente: Desarrollo propio

### *Caras fracturadas del agregado grueso*

Este método calcula la proporción de partículas quebrantadas en una muestra de árido grueso que cumplen con los requisitos establecidos.

**Normativa:** MTC E 210, establecido en la pauta ASTM D 5821.

**Equipos:**

- Pesa
- Mallas
- Divisor

**Muestra:**

- Reducir el material a 25 kg, secar superficialmente, dividir y seleccionar dos partes opuestas.
- Tamizar con malla N°4, reteniendo solo el material que no pasa.

**Procedimiento:**

- El espécimen debe ser lo adecuadamente grande para que la mayor partícula no supere el 1% de su masa.

*Tabla 24: Muestras mínimas para ensayo de caras fracturadas*

<b>Tamaño máximo nominal Muestra de ensayo mínima mm (pulg.)</b>	<b>Abertura cuadrada, mm (pulg.) Masa, g (aprox. lb.)</b>
9.5 (3/8)	200 (0.5)
12.5 (1/2)	500 (1)
19.0 (3/4)	1500 (3)
25.0 (1)	3000 (6.5)
37.5 (1 ½)	7500 (16.5)
50.0 (2)	15000 (33)
63.0 (2 ½)	30000 (66)
75.0 (3)	60000 (132)
90.0 (3 ½)	90000 (198)

Fuente [21]

- Lavar y secar la muestra hasta masa constante, garantizando una precisión del 0.1% de la masa seca inicial.
- Inspeccionar y clasificar las partículas como fracturadas o no fracturadas.
- Medir la masa de cada categoría para calcular el porcentaje de partículas fracturadas.

**Cálculos:**

- Calcular el porcentaje de masa o conteo de partículas con el número requerido de caras fracturadas, aproximando al 1% como se indica a continuación:

*Ecuación 3: Porcentaje de partículas de caras fracturadas*

$$P = \frac{F}{(F + N)} \times 100$$

Fuente: [21]

Donde:

P = Porcentaje de partículas con caras fracturadas.

F = Partículas fracturadas con el número mínimo de caras.

N = Masa de partículas no fracturadas.

*Ilustración 20: Selección de agregado con caras fracturadas*



Fuente: Desarrollo propio

### ***Sales solubles totales del agregado grueso y fino***

Método de cristalización para analizar cloruros y sulfatos en agregados pétreos para bases y mezclas asfálticas.

**Normativa:** MTC E 219, basado en el Manual de Carreteras Vol. N°8: LNV 8, 64 y 76.

#### **Equipos, materiales e insumos:**

- Balanza de precisión
- Horno
- Superficie de calentamiento
- Recipientes de precipitación
- Pipetas
- Agua purificada
- Soluciones de nitrato de plata y cloruro de bario

#### **Muestra:**

- El espécimen y la capacidad deben ajustarse a la tabla anexa.

Tabla 25: Cantidad de muestra para sales solubles

Agregado pétreo	Cantidad mínima (g)	Aforo mínimo (mL)
Grava 50 – 20 mm	1000	500
Grava 20 – 5 mm	500	500
Arena 20 mm	100	500

Fuente [21]

### Procedimiento:

- Escurrir la muestra a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante (A).
- Cubrirla con agua destilada en un vaso precipitado y hervir.
- Agitar y decantar hasta obtener un líquido claro; transferir el sobrenadante y analizar las sales solubles.
- Unir los sobrenadantes, vaciarlos en un vasija aforado y enrasar con agua (B).
- Tomar 50-100 mL de la muestra (C).
- Materializar la alícuota a  $100 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta masa constante (D).

### Cálculos:

- El cálculo se expresa mediante la siguiente relación:

*Ecuación 4: Porcentaje de sales solubles totales*

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

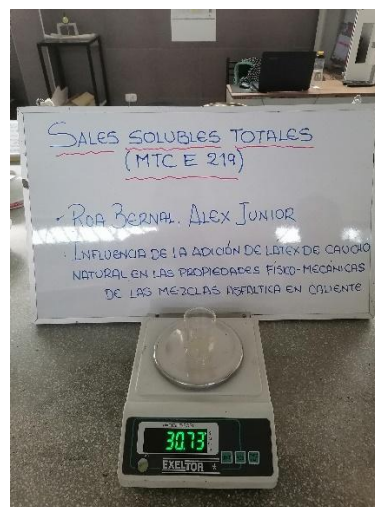
Fuente: [21]

Ilustración 21: Colocación de muestra en vaso precipitado



Fuente: Desarrollo propio

Ilustración 22: Pesado de la presencia de sales



Fuente: Desarrollo propio

### ***Equivalente arena***

El método tiene como finalidad establecer las proporciones de territorios arcillosos, finos flexibles y polvo en superficies granulares y áridos finos que pasan por el tamiz N°4 (4.75 mm).

**Normativa:** MTC E 114, asentado en la regla NTP 339.146.

#### **Equipos, materiales e insumos:**

- Cilindro graduado dúctil, tapa de goma, y sifón.
- Horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- Agitador manual con 100 ciclos en  $45 \pm 5$  s.
- Lata de control, tamiz N°4, embudo y papel de filtración.
- Solución de inventario.

#### **Muestra:**

- Tomar una muestra representativa y mezclarla bien.
- Reducir el tamaño si es necesario.
- Obtener al menos 1500 g de material que pase por el tamiz N°4 (4.75 mm).

#### **Procedimiento:**

- Ajustar el sifón y extraer 102 mm de solución de cloruro de calcio.
- Verter la muestra en un cilindro y excluir burbujas.
- Humedecer la muestra por 10 minutos.
- Agitar el cilindro 90 veces en 30 segundos.
- Usar el irrigador y esperar 20 minutos para registrar el nivel de la suspensión de arcilla.

#### **Cálculos:**

- Valorar el equivalente de arena redondeando al 0.1%.

*Ecuación 5: Arena equivalente*

$$SE = \left( \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \right) \times 100$$

Fuente [21]

Donde:

SE = Arena equivalente

Ilustración 23: Mezclado y reducción de muestra



Fuente: Desarrollo propio

Ilustración 24: Forzamiento de irrigador



Fuente: Desarrollo propio

Ilustración 25: Suspensión de material fino



Fuente: Desarrollo propio

Ilustración 26: Sedimentación de la arcilla



Fuente: Desarrollo propio

### Azul metileno del agregado fino

Procedimiento para establecer la cuantía de material dañino en la parte fina de un árido, como arcilla y material orgánico, usando el Valor de Azul de Metileno.

Tabla 26: Valor de azul de metileno y comportamiento esperado de la MAC

Valor de azul de metileno (mg/g)	Desempeño anticipado
$\leq 6$	Excelente
7 – 12	Marginalmente aceptable
13 – 19	Problemas / Posible falla
$\geq 20$	Fallado

Fuente: [21]

**Normativa:** ASSTHO TP 57.

#### Equipo y materiales:

- Tubo graduado
- Mezclador automático
- Báscula
- Frasco medidor
- Papel de filtración
- Colorante de metileno

- Agua purificada
- Estufa

### Procedimiento:

- Situar 10 g de material tamizado en un vaso con 30 ml de agua.
- Aumentar 0.5 mL de Azul de Metileno y agitar.
- Dejar caer una gota sobre papel filtro y observar.
- Si no aparece un anillo azul, seguir añadiendo solución en incrementos hasta que se forme.
- Agitar 5 minutos más y repetir la prueba para confirmar.

### Cálculos:

*Ecuación 6: Valor de azul de metileno*

$$VA = \frac{C \times V}{W}$$

Fuente [21]

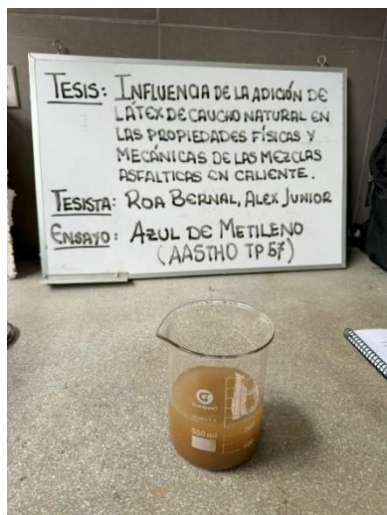
Donde:

C = Concentración de Azul de Metileno en mg/ml.

V = mL de Azul de Metileno necesarios.

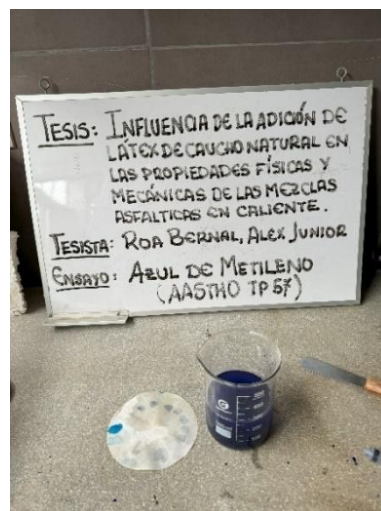
W = gramos de muestra seca.

*Ilustración 27: Batido de muestra y azul de metileno*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 28: Observación de la gota de azul de metileno*



Fuente: Desarrollo propio

### ***Índice de plasticidad del agregado fino***

Este ensayo caracteriza partículas finas de suelos y relaciona sus propiedades con el comportamiento ingenieril.

**Normativa:** MTC E 111, basado en la norma NTP 339.129.

#### **Equipos, materiales e insumos:**

- Espátula flexible
- Dispositivo de límite líquido
- Canalizador
- Contenedor
- Báscula de 0.01 g
- Horno
- Criba de 426  $\mu\text{m}$
- Agua purificada
- Superficie de vidrio pulido

#### **Muestra:**

- Tomar 150-200 g de muestra pasante del tamiz de 425  $\mu\text{m}$ .
- Colocar en la copa, nivelar y hacer una ranura con el canalizador.
- Golpear la copa hasta cerrar la ranura y registrar los golpes (25-35, 10-30, y 15-25 golpes).
- Medir el contenido de humedad ( $W_n$ ) para cada prueba.

#### **Cálculos:**

- Graficar humedad versus golpes en escala semilogarítmica.
- Tomar la intersección con 25 golpes como límite líquido del suelo.
- Calcular el límite líquido usando las ecuaciones indicadas:

*Ecuación 7: Limite líquido*

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

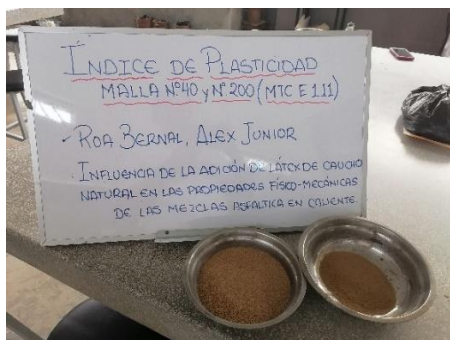
Fuente: [21]

Donde:

N = Cantidad de golpes necesarios para cerrar la ranura según el nivel de humedad.

$W^n$  = Nivel de humedad del suelo.

*Ilustración 29: Muestras para índice de plasticidad*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 30: Utilización de la copa de casa grande*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 31: Registro de pesos*



Fuente: Elaboracion propia

## ***Ensayos del cemento asfáltico***

### ***Penetración***

Este método describe cómo establecer la penetración en materiales bituminosos consistentes y semisólidos. El procedimiento y equipo permiten medir hasta 500 de penetración, siendo un indicador de consistencia: a mayor penetración, más suave el material.

**Normativa:** MTC E 304, basado en la norma ASTM D 5.

### **Equipos, materiales y reactivos:**

- Dispositivo de penetración
- Punta de ensayo
- Contenedor
- Baño térmico
- Bandeja de 350 mL
- Termómetros

### **Muestra:**

- Calentar y agitar 400-500 g de muestra hasta que sea fluida para verter en moldes.

### **Procedimiento:**

- Verificar que la aguja esté limpia.
- Colocar la muestra en el penetrómetro bajo agua.
- Leer el dial y bajar la aguja hasta la muestra.
- Hacer 3 mediciones separadas; si la penetración supera 200, usar tres agujas o recipientes.

### **Cálculos:**

- Promediar las tres mediciones de penetración.

*Ilustración 32: Ensayo de penetración al cemento asfáltico patrón y modificado*



Fuente: Desarrollo propio

### ***Ductilidad***

Este método mide la ductilidad de materiales asfálticos estirando una muestra hasta su rotura y registrando la distancia máxima alcanzada.

**Normativa:** MTC E 306, basado en la norma ASTM D 113-99.

### **Equipos, materiales e insumos:**

- Molde metálico
- Lámina metálica plana
- Ductilómetro
- Termómetro

### **Procedimiento:**

- Ensamblar el molde, aplicar glicerina o talco y calentar la muestra.
- Filtrar y verter en el molde.
- Dejar reposar, luego sumergir en el baño de agua.

- Estirar los sujetadores hasta romper la muestra y medir la distancia estirada.

### **Cálculos:**

- La ductilidad de una muestra es la distancia en cm alcanzada hasta su rotura.
- Promediar los resultados de tres pruebas.

*Ilustración 33: Molde de bronce con vaciado de cemento asfáltico*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 34: Colocación de molde de bronce a baño de agua*



Fuente: Desarrollo propio

## ***Ensayos de la mezcla asfáltica en caliente***

### ***Densidad***

Norma para medir la gravedad específica Bulk de mezclas bituminosas compactadas y recubiertas de parafina con altos vacíos o absorción de agua.

**Normativa:** MTC E 506, basado en la norma ASTM D 1188.

### **Equipos, materiales e Insumos**

- Báscula precisa
- Baño térmico
- Cera parafinada
- Cilindro de calibración

### **Muestra:**

- Los especímenes de prueba deben moldearse con mezclas de laboratorio y estar libres de contaminantes.

### **Procedimiento:**

- Calcular la gravedad específica aparente del espécimen sin recubrimiento y el porcentaje de agua absorbida.

- Si la absorción supera el 2%, cubrir con parafina y registrar las masas en aire y en agua a 25°C
- Calcular la gravedad específica de la muestra de aluminio:

*Ecuación 8: Gravedad específica de una briqueta ( $G_{al}$ )*

$$G_{al} = \frac{A_{al}}{A_{al} - B_{al}}$$

Fuente: [21]

Donde:

$A_{al}$  = masa de la probeta seca en el aire, g.

$B_{al}$  = masa de la probeta sumergida en agua, g.

- Calcular la densidad específica de la parafina:

*Ecuación 9: Gravedad específica de la parafina ( $F$ )*

$$F = \frac{D_{al} - A_{al}}{D_{al} - E_{al} - \frac{A_{al}}{G_{al}}}$$

Fuente: [21]

Donde:

$D_{al}$  = masa de la probeta seca cubierta, g.

$E_{al}$  = masa de la probeta sumergida debajo del agua, g.

### **Cálculos:**

- Calcular la gravedad específica aparente del espécimen recubierto.

*Ecuación 10: Gravedad específica aparente de la briqueta*

$$\text{Gravedad específica aparente} = \frac{A}{D - E - \frac{(D - A)}{F}}$$

Fuente: [21]

Donde:

$A$  = peso del espécimen seco en aire, g

$D$  = peso del espécimen seco con revestimiento, g

$E$  = peso del espécimen revestido en agua, g

$F$  = densidad específica del revestimiento a 25°C

- Calcular la masa volumétrica del espécimen de la siguiente forma:

*Ecuación 11: Densidad de la briqueta*

$$\text{Densidad} = (\text{Gravedad específica aparente}) \times \gamma$$

Fuente: [21]

**Donde:**

$\gamma$  = Densidad del agua a 25°C (997.0 kg/m<sup>3</sup>)

### **Vacíos**

Calcular la proporción de vacíos en mixturas bituminosas compactadas, tanto pesadas como abiertas, para evaluar su diseño y la compactación en pavimentos asfálticos.

**Normativa:** MTC E 505, basado en la norma ASTM 3203.

#### **Procedimiento:**

- Calcular la gravedad específica aparente (MTC 506).
- Calcular la gravedad específica teórica máxima (MTC E 508).

#### **Calcular:**

- Calcular la proporción de vacíos en la mezcla bituminosa compactada.

*Ecuación 12: Porcentaje de vacíos de aire de una briqueta*

$$\text{Porcentaje de vacíos de aire} = 100 \times \left( 1 - \frac{\rho e_{bulk}}{\rho e_{teorico\ max}} \right)$$

Fuente: [21]

### **Estabilidad y fluencia**

Preparar y compactar especímenes de mezcla bituminosa para el diseño asfáltico y realizar pruebas de estabilidad, flujo, tracción y análisis de densidad y vacíos usando el método Marshall.

**Normativa:** MTC E 504, basado en las normas ASTM D 6926 y ASTM D 6927.

#### **Equipos, materiales e insumos:**

- Expulsor de muestras
- Martillo y base de compactación
- Soporte de molde
- Equipos de mezclado
- Cabezal de fractura
- Prensa de compresión

#### **Procedimiento:**

- Pesar cada fracción de agregado para la bachada.
- Calentar los agregados sin exceder la temperatura establecida.
- Añadir el material bituminoso al agregado seco.
- Mezclar rápidamente por 120 segundos.

- Instalar la mezcla en el molde y compactar con una espátula caliente.
- Aplicar golpes en el molde con el martillo.
- Dejar enfriar el espécimen por 24 horas.
- Aplicar carga hasta que disminuya, registrando la máxima como estabilidad Marshall.

*Ilustración 35: Elaboración y conformación de la MAC*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 36: Compactación de la MAC*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 37: Enfriado y desmolde de briquetas*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 38: Ensayo de estabilidad y fluencia*



Fuente: Desarrollo propio

### ***Razón del esfuerzo a tensión indirecta***

Este método evalúa la susceptibilidad de mezclas asfálticas compactadas mediante tracción directa, midiendo la resistencia a la tensión por saturación y ciclos de congelamiento. Los resultados predicen el desprendimiento a largo plazo y evalúan aditivos como cal hidratada o cemento Portland.

**Normativa:** MTC E 522, basado en la norma AASHTO T 283.

**Equipos, materiales e insumos:**

- Dispositivo Marshall
- Extractor de vacío
- Congelador
- Compresora

**Muestras:**

- Realizar al menos seis (06) especímenes por ensayo: la mitad en seco y la otra mitad tras saturación y congelamiento.

**Procedimiento:**

- Calcular la gravedad específica máxima teórica (Gmm).
- Medir espesor y diámetro de cada espécimen.
- Determinar la gravedad específica aparente (Gmb).
- Calcular el porcentaje y volumen de vacíos de aire (Pa y Va) en especímenes tratados.

*Ecuación 13: Volumen de vacíos de aire (Va)*

$$V_a = \frac{P_a \times E}{100}$$

Fuente: [21]

Donde:

$V_a$  = Volumen de vacíos de aire, en  $\text{cm}^3$

$P_a$  = Vacíos de aire en porcentaje

$E$  = Volumen del espécimen, en  $\text{cm}^3$

- El subgrupo seco se almacenará a temperatura ambiente y, al finalizar el curado, se cubrirá y sumergirá en agua a  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$  durante 2 horas  $\pm$  10 minutos, con al menos 25 mm de agua. Luego, se ensayarán los especímenes.
- Para el otro subgrupo:
  - o Ubicar el espécimen en un contenedor de vacío, elevado 25 mm con un espaciador, y llenarlo con agua potable a temperatura ambiente, asegurando 25 mm de agua sobre el espécimen. Luego, medir el peso del espécimen saturado con superficie seca ( $B'$ ).
  - o Calcular el volumen de agua absorbido ( $J'$ ) en  $\text{cm}^3$  con la siguiente ecuación:

*Ecuación 14: Volumen absorbido de agua ( $J'$ )*

$$J' = B' - A'$$

Fuente: [21]

Donde:

$J'$  = Volumen de agua absorbida en  $\text{cm}^3$

$B'$  = Peso del espécimen saturado con superficie seca después de la saturación parcial al vacío, g

$A'$  = Peso del espécimen seco en el aire, g.

- Calcular el grado de saturación ( $S'$ ) comparando el volumen de agua absorbida ( $J'$ ) con el volumen de vacíos de aire ( $V_a$ ):

*Ecuación 15: Grado de saturación ( $S'$ )*

$$S' = \frac{100 \times J}{V_a}$$

Fuente: [21]

Donde:

$S'$  = Grado de saturación en porcentaje

- Si el grado de saturación es  $<70\%$ , repetir; si es  $>80\%$ , descartar.
  - Entre  $70\%$  y  $80\%$ , cubrir con plástico y colocar en una bolsa con  $10 \pm 5$  mL de agua, luego sellar.
  - Congelar a  $-18 \pm 3^\circ\text{C}$  por 16 horas, luego sumergir en agua a  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  por 24 horas.
  - Finalmente, poner en agua a  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$  por 2 horas antes de ensayar.
- Calcular el esfuerzo a tensión directa en los especímenes secos y humedecidos hasta que se forme una fisura vertical.

#### **Cálculos:**

- Determinar el esfuerzo a tensión:

*Ecuación 16: Esfuerzo a la tensión ( $S_t$ )*

$$S_t = \frac{200 \times P}{3.141592 \times t \times D}$$

Fuente [21]

Donde:

$S_t$  = Esfuerzo a la tensión, kPa

$P$  = Carga máxima, N

$t$  = Espesor del espécimen, mm

$D$  = Diámetro del espécimen, mm

- Calcular el índice de firmeza de las mezclas asfálticas al daño por agua como la relación entre el esfuerzo inicial y el retenido tras acondicionamiento húmedo y congelamiento

*Ecuación 17: Razón del esfuerzo a tensión (TSR)*

$$\text{Razon del esfuerzo a tension (TSR)} = \frac{S_2}{S_1}$$

Fuente: [21]

Donde:

$S_1$  = Promedio del esfuerzo a tensión del subgrupo seco, kPa

$S_2$  = Promedio del esfuerzo a tensión del subgrupo acondicionado, kPa.

*Ilustración 39: Grupo de briquetas secas para ensayo de TSR*



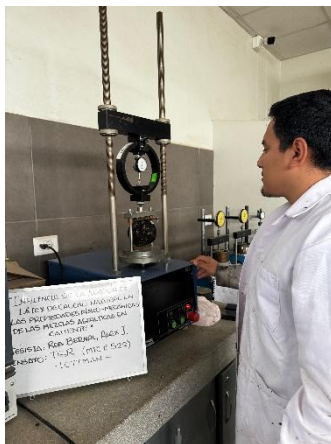
Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 40: Grupo de briquetas llevadas a enfriamiento para ensayo de TSR*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 41: Ejecución de la carga para ensayo de TSR*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 42: Presencia de la falla durante el ensayo de TSR*



Fuente: Desarrollo propio

### ***Pérdida por desgaste***

Describir el procedimiento para medir la pérdida por deterioro de las mixturas asfálticas con el aparato de Los Ángeles, evaluando su cohesión y resistencia a la disgregación ante el tráfico.

**Normativa:** MTC E 515, basado en la norma técnica española NLT 352.

**Equipos y materiales:**

- Aparato de Los Ángeles
- Básculas

**Muestra:**

- Se deben preparar al menos cuatro (04) probetas o briquetas para cada tipo de contenido de ligante probado.

**Procedimiento:**

- Se mide la masa de cada probeta con precisión de 0.1 g, anotando como P1.
- Se gira la probeta en el aparato de Los Ángeles a la rapidez normalizada durante 300 vueltas, sin carga abrasiva.
- Luego, se pesa nuevamente, registrando el valor como P2.

**Cálculos e informe**

- Se determina el desempeño en la prueba de pérdida por desgaste para cada briketa probada utilizando la siguiente fórmula:

*Ecuación 18: Valor de la pérdida por desgaste (P)*

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

Fuente: [21]

Donde:

P = Valor de la pérdida por desgaste, en %

P<sub>1</sub> = Masa inicial de la probeta, en gramos

P<sub>2</sub> = Masa final de la probeta, en gramos

*Ilustración 43: Ejecución de la evaluación de pérdida por desgaste por cántabro*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 44: Procesamiento de datos para el ensayo de pérdida por desgaste por cántabro*



Fuente: Desarrollo propio

*Ilustración 45: Evidencias de briquetas desgastadas por abrasión*



Fuente: Desarrollo propio

### ***Inmersión – compresión***

Evalúa la secuela del agua en la firmeza a la compresión de mixturas bituminosas con betún asfáltico, comparando la compresión de especímenes nuevos con la de aquellos sumergidos en agua.

**Normativa:** MTC E 518, basado en la norma ASTM D 1075.

#### **Procedimiento:**

- Clasificar seis (06) especímenes en dos grupos de tres (03) con gravedad específica similar.
- Para el grupo 1, mantener a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 4 horas y calcular la resistencia a la compresión según MTC E 513.
- Para el grupo 2, empapar en agua a  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  por 24 horas, luego a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 2 horas y contar la resistencia a la compresión.

#### **Cálculos:**

- Valorar el índice de firmeza de las mixturas bituminosas al daño por agua como la proporción de resistencia original retenida tras la inmersión.

*Ecuación 19: Índice de resistencia retenida*

$$\text{Índice de resistencia retenida } \% = \frac{S_2}{S_1}$$

Fuente: [21]

Donde:

$S_1$  = Resistencia a la compresión de especímenes secos (Grupo 1)

$S_2$  = Resistencia a la compresión de especímenes sumergidos (Grupo 2)

### ***Plan de procesamiento y análisis de datos***

Esta indagación propone un método de procesamiento de datos en 6 etapas, detalladas a continuación:

#### **FASE 1: DEFINIR AL MATERIAL GRANULAR DE ACUERDO CON LAS ESPECIFICACIONES DEL MTC**

- Obtención y selección de los agregados de 2 canteras diferentes, para el material granular fino de la cantera “La Victoria” y para el material granular grueso (1/2”) de la cantera “Tres tomas”, puesto que cumple al reglamento.
- Ensayo de laboratorio para el material granular
  - Durabilidad (al sulfato de magnesio)
  - Abrasión Los Ángeles
  - Partículas chatas y alargadas
  - Caras fracturadas
  - Sales solubles totales
  - Absorción
  - Equivalente arena
  - Azul de metileno
  - Índice de plasticidad

#### **FASE 2: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PATRÓN**

- Elaboración de briquetas, según la metodología Marshall.
- Ensayos a las briquetas, para determinar contenido óptimo de asfalto:
  - Estabilidad y flujo
  - Porcentaje de vacíos
- Análisis y determinación del contenido óptimo de asfalto.

#### **FASE 3: OBTENCIÓN DEL LÁTEX DE CAUCHO NATURAL (LCN)**

- Coordinación con la cooperativa ECOMUSA, para la obtención y envío del látex de caucho natural de tipo *Hevea brasiliensis* en estado sólido.
- Caracterización mediante un ensayo químico del látex de caucho natural.

#### **FASE 4: CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO PATRÓN Y MODIFICADO CON LÁTEX DE CAUCHO NATURAL**

- Muestreo del cemento asfáltico (PEN 60/70)
- Ensayos al cemento asfáltico patrón y modificado con LCN

- Penetración
- Ductilidad

#### **FASE 5: DESARROLLO DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON EL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PATRÓN**

- Elaboración de briquetas modificadas con LCN, según la metodología Marshall.
- Ensayos a las briquetas modificadas
  - Flujo y estabilidad
  - Porcentaje de vacíos
  - Pérdida por desgaste
  - Inmersión – compresión

#### **FASE 6: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

- Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica patrón y modificada.
- Elección del porcentaje de látex de caucho natural que presenta mejores propiedades física y mecánicas en las mezclas asfálticas en caliente.
- Realizar el costo unitario de la mezcla asfáltica en caliente por m<sup>3</sup> patrón y con el porcentaje apropiado.
- Conclusiones y recomendaciones de la investigación.

*Matriz de consistencia*

<b>Título</b>	Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades fisico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.
<b>Problema</b>	¿De qué manera influye la adición de látex de caucho natural en las propiedades fisico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente?
<b>Objetivos</b>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Analizar la influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades fisico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir las propiedades del material granular en la mezcla asfáltica de acuerdo con las especificaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).</li> <li>- Caracterizar la penetración y ductilidad del cemento asfáltico patrón y modificado con látex de caucho natural.</li> <li>- Determinar el contenido óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica patrón, empleando el Método Marshall.</li> <li>- Desarrollar el diseño de mezcla asfáltica modificada con el contenido óptimo de asfalto patrón, empleando el Método Marshall.</li> <li>- Analizar las propiedades físicas (densidad y vacíos) y mecánicas (estabilidad, fluencia, pérdida por desgaste, TSR e inmersión – compresión) de la mezcla asfáltica patrón y modificada.</li> <li>- Calcular el costo de fabricación de la mezcla asfáltica en caliente modificada.</li> </ul>
<b>Hipótesis:</b>	La adición de látex de caucho natural mejora las propiedades fisico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.
<b>Variables</b>	<p><b>Variable independiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adición de látex de caucho natural</li> </ul> <p><u>Indicador:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adición de látex de caucho natural</li> </ul> <p><b>Variable dependiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Propiedades fisico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente</li> </ul> <p><u>Indicador:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Penetración</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ductilidad</li> <li>- Densidad</li> <li>- Vacíos</li> <li>- Estabilidad</li> <li>- Fluencia</li> <li>- Razón del esfuerzo a tensión (TSR)</li> <li>- Pérdida por desgaste</li> <li>- Inmersión – compresión</li> </ul> <p><b>Variable interviniente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tipo de látex de caucho natural: Hevea brasiliensis</li> <li>▪ Tipo de cemento asfáltico: PEN 60/70</li> <li>▪ Tipo de filler (cemento portland): Tipo I</li> <li>▪ Tamaño de la piedra: ½”</li> <li>▪ Nivel de tráfico: A y C</li> </ul>
<b>Metodología</b>	<p><b>Tipo y nivel de investigación</b></p> <p>Según el entorno de la indagación, se trata de un estudio de carácter experimental. Esto se debe a que la hipótesis se confirma a través de la manipulación controlada de las variables por parte del investigador, esta manipulación intencionada busca formar una dependencia de causa y efecto en un fenómeno físico específico [24]. En este contexto, la hipótesis se considera válida cuando la alteración de la variable independiente (adición de látex de caucho natural), genera cambios en la conducta de la variable dependiente (propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente).</p> <p>Según el propósito que se persigue, esta investigación es de naturaleza aplicada, ya que su objetivo principal es comprender, intervenir, construir y cambiar una situación problemática específica.</p>
<b>Población</b>	<p><b>Población</b></p> <p>Se refiere al grupo de elementos que son el foco de estudio y sobre los cuales se realizarán experimentos o intervenciones para alcanzar un objetivo específico. La población en este contexto se caracteriza por ser el grupo que se investigará con el propósito de aplicar o implementar los resultados de la investigación en una situación práctica, por ende, está constituido por las</p>

composiciones asfálticas en caliente agregando látex de caucho natural, como lo indica las tablas establecidas.

**Muestra**

- Caracterización del cemento asfáltico: Para el ensayo de penetración del cemento asfáltico patrón y modificado se realizará 01 ensayo, y para determinar la ductilidad se realizará 01 ensayo para cada uno respectivamente.
- Propiedades físico-mecánicas de las MAC: Para determinar el contenido óptimo de asfalto mediante la metodología Marshall se tendrán 50 briquetas, y 30 briquetas de MAC modificadas para establecer su estabilidad y fluencia, 48 briquetas entre MAC patrón y modificadas para realizar el esfuerzo a tensión indirecta. 32 briquetas para el ensayo de pérdida por desgaste y finalmente 48 briquetas para inmersión – compresión.

## Resultados

### *Ensayos del material granular*

#### *Durabilidad del agregado grueso*

Se llevó a cabo según el medio especificado por la norma MTC E 209. Se utilizaron tamices que van desde ½” hasta el N°4, calculando la gradación de la muestra original, la pérdida total y la pérdida corregida.

*Tabla 27: Desempeño en la prueba de durabilidad del árido grueso*

Tamaño de los tamices		Gradacion Original (peso)	Gradacion de la Muestra Originales (%)	Peso de las Fracciones comprendido antes del ensayo (g)	Peso Ret. despues del ensayo (g)	Pérdida Total (%)	Pérdida Corregida (%)
Pasa	Retiene						
2 1/2" 63 mm	2" 50 mm	0	0	0	0	0	0
2" 50 mm	1 1/2" 37.5 mm	0	0	0	0	0	0
1 1/2" 37.5 mm	3/4" 19 mm	0	0	0	0	0	0
3/4" 19 mm	1/2" 12.5 mm	320	54.02	153.8	134.5	12.5	6.8
1/2" 12.5 mm	3/8" 9.5 mm	158.9	26.82	68.9	57.6	16.4	4.4
3/8" 9.5 mm	N° 4 4.75 mm	113.5	19.16	60.5	42.5	29.8	5.7
<b>Totales</b>		<b>592.4</b>	<b>100</b>	<b>283.2</b>	<b>234.6</b>		<b>16.9</b>

Fuente: Desarrollo propio

El material grueso cumple con las exigencias señaladas en la norma MTC E 209, la cual especifica que el desgaste total debe ser como máximo del 18%. En este contexto, el ensayo mostró un desgaste total del 16.9%, cumpliendo así con los requerimientos normativos.

#### *Durabilidad del agredo fino*

Se llevó a cabo según el medio descrito por la norma MTC E 209. Se utilizaron tamices que van desde 3/8” hasta el N°100, calculando la gradación de la muestra original, la pérdida total y la pérdida corregida.

Tabla 28: Desempeño en la prueba de durabilidad del árido fino

Tamaño de los tamices		Gradacion Original (peso)	Gradacion de la Muestra Originales (%)	Peso de las Fracciones comprendido antes del ensayo (g)	Peso Ret. despues del ensayo (g)	Pérdida Total (%)	Pérdida Corregida (%)
Pasa	Retiene						
3/8" 9.5 mm	Nº 4 4.75 mm	142.6	15.5	100	95.6	4.4	0.7
Nº 4 4.75 mm	Nº 8 2.36 mm	115.6	12.5	100	92.1	7.9	1.0
Nº 8 2.36 mm	Nº 16 1.18 mm	120.6	13.1	100	93.2	6.8	0.9
Nº 16 1.18 mm	Nº 30 600 µm	117.6	12.7	100	93.4	6.6	0.8
Nº 30 600 µm	Nº 50 300 µm	126.9	13.8	100	89.6	10.4	1.4
Nº 50 300 µm	Nº 100 150 µm	168.9	18.3	100	92.3	7.7	1.4
Nº 100 150 µm		130.5	14.1	100	90.2	9.8	1.4
<b>Totales</b>		<b>922.7</b>	<b>100.00</b>	<b>700</b>	<b>646.4</b>		<b>7.6</b>

Fuente: Desarrollo propio

El material fino cumple con las exigencias instituidas en la norma MTC E 209, la cual no especifica desgaste total como máximo o mínimo. En este contexto, agregado fino mostró un desgaste total del 7.6%.

### *Abrasión Los Ángeles*

Para este ensayo, se utilizó una gradación tipo B, dado que la muestra consistía en piedra chancada de 1/2".

Tabla 29: Desempeño en la prueba de abrasión del árido grueso

Mallas		Peso retenido	% Retenido	Gradación B
Pasa	Retiene			
1 1/2"	1"	0.0	0.0	0
1"	3/4"	0.0	0.0	0
3/4"	1/2"	2500.0	50.0	0
1/2"	3/8"	2500.0	50.0	5000.3
<b>Total</b>		<b>5000.0</b>	<b>100.0</b>	<b>5000.3</b>
- Peso inicial antes del ensayo				<b>5000.0</b>
- Peso final despues de las 200 revoluciones				<b>4762.0</b>
- Peso final despues de las 500 revoluciones				<b>4375.0</b>
- Porcentaje de desgaste por abrasión				<b>12.50%</b>
- Porcentaje de uniformidad				<b>0.4%</b>

Fuente: Desarrollo propio

Este resultado consume la exigencia señalada por la norma MTC E 207, la cual estipula un máximo de 40% de desgaste por abrasión. Por lo tanto, el agregado grueso evaluado se encuentra dentro de los límites aceptables según la regla vigente.

### *Partículas chatas y alargadas*

Se ha llevado a cabo el procedimiento de la valoración de partículas chatas y alargadas para el árido grueso, conforme a la norma ASTM D 4791.

*Tabla 30: Desempeño en la prueba de partículas chatas y alargadas*

Material		Agregado grueso			P. chatas		P. alargadas	
Tamiz	Abertura	Peso	% Ret.	% Pasa	Peso	%	Peso	%
(pulg)	(mm)							
3/4"	19.00			100				
1/2"	12.50	822.0	65.9	34.1	15.8	1.3	3.6	0.3
3/8"	9.50	300.0	24.1	10.0	39	3.1	24	1.9
1/4"	6.30	125.0	10.0	-	22	1.8	15.6	1.3
<b>Total</b>		<b>1247.0</b>				<b>6.2</b>		<b>3.5</b>

- Peso total de la muestra (g)	<b>1247.0</b>
- Porcentaje de partículas chatas y alargadas	<b>9.6%</b>

Fuente: Desarrollo propio

El desempeño fue de 9.6%. Este resultado verifica la obligación señalada por la norma ASTM D 4791, que permite un máximo de 10% de partículas chatas y alargadas.

### *Caras fracturadas*

En esta prueba, se siguió el procedimiento adecuado para evaluar tanto una como dos caras fracturadas, calculando posteriormente el promedio de ambos resultados.

Tabla 31: Desempeño en la prueba de caras fracturadas del árido grueso

Datos con una cara fracturada							
Tamiz		Peso Mín. Requerido (g)	Peso Muestra A (g)	Peso Material con Dos Carac Fract. B (g)	% de Caras Fract. C = ((B/A)*100)	% Ret. Gradación Orig.	Promedio de CF E = C * D
Pasa	Retiene						
3"	2 1/2"	30000.0	0.0	0.0	-	-	-
2 1/2"	2"	15000.0	0.0	0.0	-	-	-
2"	1 1/2"	7500.0	0.0	0.0	-	-	-
1 1/2"	1"	3000.0	0.0	0.0	-	-	-
1"	3/4"	1500.0	0.0	0.0	-	-	-
3/4"	1/2"	500.0	576.0	348.0	60.4%	576.0%	348.0%
1/2"	3/8"	300.0	334.0	262.0	78.4%	334.0%	262.0%
<b>Total</b>		<b>57800.0</b>	<b>910.0</b>	<b>610.0</b>		<b>910.0%</b>	<b>610.0%</b>

Datos con dos caras fracturadas							
Tamiz		Peso Mín. Requerido (g)	Peso Muestra A (g)	Peso Material con Dos Carac Fract. B (g)	% de Caras Fract. C = ((B/A)*100)	% Ret. Gradación Orig.	Promedio de CF E = C * D
Pasa	Retiene						
3"	2 1/2"	30000.0	0.0	0.0	-	-	-
2 1/2"	2"	15000.0	0.0	0.0	-	-	-
2"	1 1/2"	7500.0	0.0	0.0	-	-	-
1 1/2"	1"	3000.0	0.0	0.0	-	-	-
1"	3/4"	1500.0	0.0	0.0	-	-	-
3/4"	1/2"	500.0	576.0	395.6	68.7%	576.0%	395.6%
1/2"	3/8"	300.0	334.0	268.0	80.2%	334.0%	268.0%
<b>Total</b>		<b>57800.0</b>	<b>910.0</b>	<b>663.6</b>		<b>910.0%</b>	<b>663.6%</b>

- Porcentaje con una cara fracturada	<b>67%</b>
- Porcentaje con dos caras fracturadas	<b>73%</b>

Fuente: Desarrollo propio

El material grueso obtuvo un efecto de 67/73 en el ensayo de caras fracturadas, cumpliendo con la regla MTC E 210 que requiere un máximo de 85/50.

### Sales solubles

Se ha efectuado la prueba de acuerdo con la regla MTC E 219. En este proceso, se determinó el peso de los residuos salinos y se cuantificaron los componentes de sales solubles totales en ppm para ambos tipos de agregados.

Tabla 32: Desempeño en el test de sst del material granular

				AG	AF
01	Relación de la mezcla suelo - agua destilada			5.00	5.00
02	Número de beaker			1	2
03	Peso de beaker		g	45.60	30.96
04	Peso de beaker + residuo de sales		g	45.65	31.03
05	Peso de residuo de sales	(4)-(3)	g	0.05	0.07
06	Volumen de la solución tomada		ml	100.00	100.00
07	Constituyentes de sales solubles totales	$[ (5) \times (1000000) ] / (6) \times (1)$	ppm	500.00	700.00
08	Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	$(7) / 10000$	(%)	0.05	0.07
				<b>Promedio (ppm) =</b>	<b>600.00</b>
				<b>Promedio (%) =</b>	<b>0.06</b>

- Porcentaje de sales solubles totales del AG	<b>0.05%</b>
- Porcentaje de sales solubles totales del AF	<b>0.07%</b>

Fuente: Desarrollo propio

El desempeño en el ensayo arrojó un valor de 0.05% para el árido grueso y 0.07% para el árido fino. Estos efectos cumplen ampliamente con las exigencias señaladas por la norma, que especifica un máximo de 0.5%.

### ***Equivalente arena***

La prueba se ejecutó según la regla MTC E 114, registrando la altura máxima del material fino y de la arena para evaluar la calidad del agregado.

*Tabla 33: Desempeño en el ensayo de EA en árido fino*

<b>Muestra N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Tamaño máximo (mm)	N° 4	N° 4	N° 4
Hora de entrada	<b>5.01</b>	<b>5.05</b>	<b>5.10</b>
Hora de salida	5.51	5.55	5.60
Hora de entrada	<b>5.15</b>	<b>5.20</b>	<b>5.25</b>
Hora de salida	5.35	5.40	5.45
Altura máxima del material fino (cm)	6.50	6.40	5.70
Altura máxima de la arena (cm)	3.90	3.60	3.40
Equivalente arena	60.00%	56.25%	59.65%
<b>Equivalente arena (EA)</b>	<b>59.00%</b>		

Fuente: Desarrollo propio

El desempeño en el ensayo arrojó un valor del 59%. La normativa MTC E 114 vigente establece que el valor mínimo requerido es del 60%.

### ***Azul de metileno***

Se ha llevado a cabo el ensayo del valor de azul de metileno como parte de la investigación de laboratorio del agregado fino, tal como lo exige la norma ASSTHO TP 57.

*Tabla 34: Desempeño en la prueba de metileno de azul en árido fino*

<b>Muestra</b>	<b>Azul de Metileno</b>	<b>Cantidad de solución</b>	<b>Peso del material fino (N° 200)</b>	<b>Resultado</b>
	<b>Cada</b>	<b>Número</b>		
Pasa N° 200	0.5 mL	8.0	5.0	1.6
		8.0	5.0	1.6

- Valor de azul de metileno	<b>2</b>
-----------------------------	----------

Fuente: Desarrollo propio

El valor obtenido en la prueba del azul de metileno registró un 2, señalando un rendimiento excepcional previsto para la mezcla asfáltica.

### ***Índice de plasticidad***

Se ha llevado a cabo la prueba de índice de plasticidad acorde a lo establecido en la regla MTC E 111 para el agregado fino.

*Tabla 35: Desempeño en la prueba de índice de plasticidad en árido fino*

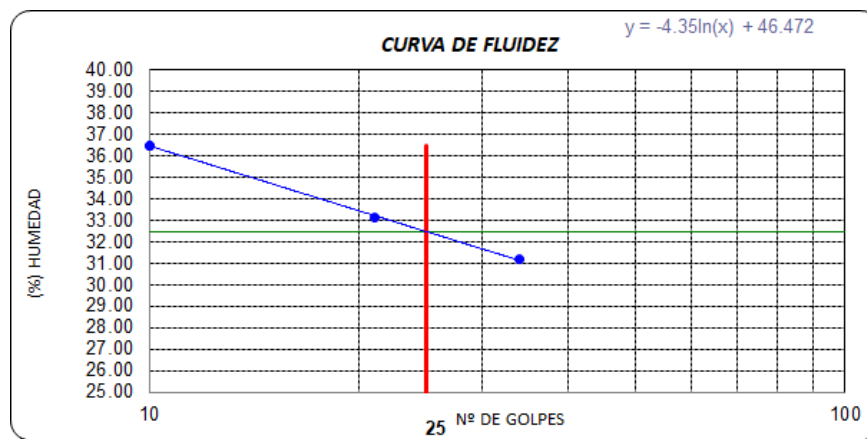
Datos de ensayo.	Límite líquido				L.P.
N° de tarro	12	15	16	1	20
N° de golpes	34	21	10	10	
Tarro + suelo húmedo	36.85	32.86	34.58	34.58	21.14
Tarro + suelo seco	32.39	29.1	30.06	30.06	20.59
Agua	4.46	3.76	4.52	4.52	0.55
Peso del tarro	18.1	17.74	17.67	17.67	18.67
Peso del suelo seco	14.29	11.36	12.39	12.39	1.92
Porcentaje de humedad	31.21	33.10	36.48	36.48	28.65

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	32.47
Límite Plástico	28.65
Índice de Plasticidad	3.82

Fuente: Desarrollo propio

El desempeño en el ensayo arrojó un valor del 3.82%. Este resultado se halla dentro de los términos establecidos por la regla MTC E 111, que especifica un máximo del 4% para este parámetro.

*Tabla 36: Curva de fluidez del agregado fino*



Fuente: Desarrollo propio

### ***Absorción del agregado fino***

Se ha ejecutado la prueba de absorción del material granular fino, conforme a lo determinado por la norma MTC E 206.

*Tabla 37: Desempeño en la prueba de absorción del árido fino*

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	945.2	946.5
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	643.2	645.6
3.- Peso del Agua	(g)	302	300.9
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	640.6	643.4
5.- Peso del Frasco	(g)	143.2	145.6
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	497.4	497.8
7.- Volumen del frasco	(cm <sup>3</sup> )	500	500

A.- Peso específico de masa	(g/cm <sup>3</sup> )	2.51
B.- Pesp esp. de masa sat. sup. Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	2.52
C.- Peso específico aparente	(g/cm <sup>3</sup> )	2.54
D.- Porcentaje de absorción		0.48%

Fuente: Desarrollo propio

El desempeño en la prueba de absorción ejecutado al árido fino fue de 0.48%, lo cual cumple con la normativa que establece un máximo del 0.5% de absorción para este tipo de material.

#### ***Absorción del agregado grueso***

Se ejecutó la prueba de absorción del material granular fino según la norma MTC E 206, midiendo peso específico y porcentaje de absorción.

*Tabla 38: Desempeño en el ensayo de absorción del agregado grueso*

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	4176	4320
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	4210	4360
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	3380	3460
4.- Peso de la canastilla	(g)	880	880
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	2500	2580

A.- Peso específico de masa	(g/cm <sup>3</sup> )	2.43
B.- Pesp esp. de masa sat. sup. Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	2.46
C.- Peso específico aparente	(g/cm <sup>3</sup> )	2.49
D.- Porcentaje de absorción		0.87%

Fuente: Desarrollo propio

El desempeño en la prueba de absorción realizado al árido fino fue de 0.87%, lo cual cumple con la normativa que establece un máximo del 1% de absorción para este tipo de material.

#### ***Ensayos al cemento asfáltico patrón y modificado***

Para caracterizar el cemento asfáltico patrón y modificado con un 2.5%, 4.5% y 6.5% de látex de caucho natural (LCN), se realizaron ensayos de penetración y ductilidad. Estos ensayos son cruciales para la preparación de mixturas asfálticas en caliente, ya que los parámetros

obtenidos indican el comportamiento y desarrollo de la adición de LCN tanto en la mezcla asfáltica como en el cemento asfáltico.

### ***Penetración del cemento asfáltico patrón y modificado***

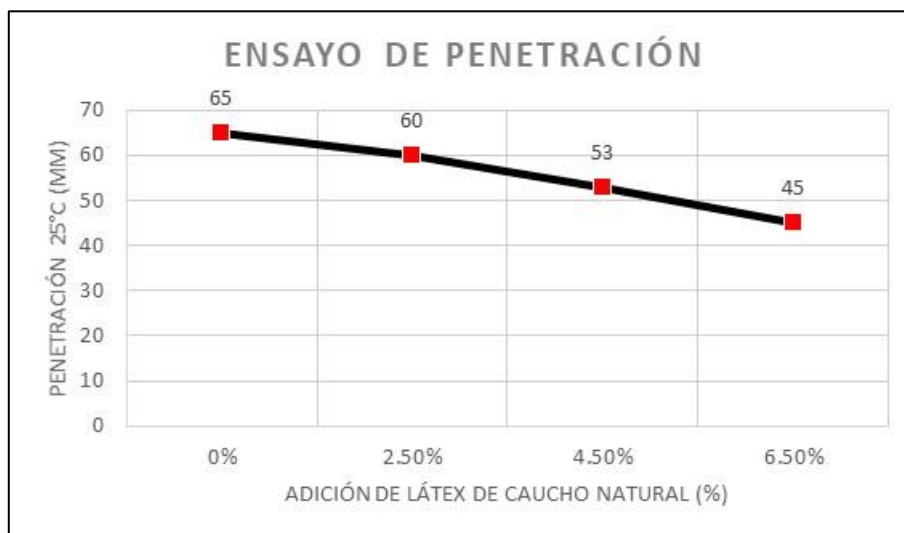
El ensayo de penetración se llevó a cabo conforme a la norma MTC E 304, la cual se utiliza para evaluar la firmeza o consistencia relativa del cemento asfáltico. En este proceso, se realizaron un mínimo de tres mediciones con el penetrómetro, registrando cuidadosamente cada lectura para asegurar la precisión de los resultados.

*Tabla 39: Desempeño en el ensayo de penetración al C.A. patrón y modificado*

Muestras	Penetración, 25°C
	(0.1 mm)
C.A. patrón PEN 60/70	65
C.A. modificado PEN 60/70 + 2.5% LCN	60
C.A. modificado PEN 60/70 + 4.5% LCN	53
C.A. modificado PEN 60/70 + 6.5% LCN	45

Fuente: Desarrollo propio

*Gráfico 2: Penetración del C.A. patrón y modificado*



Fuente: Desarrollo propio

### ***Ductilidad del cemento asfáltico patrón y modificado***

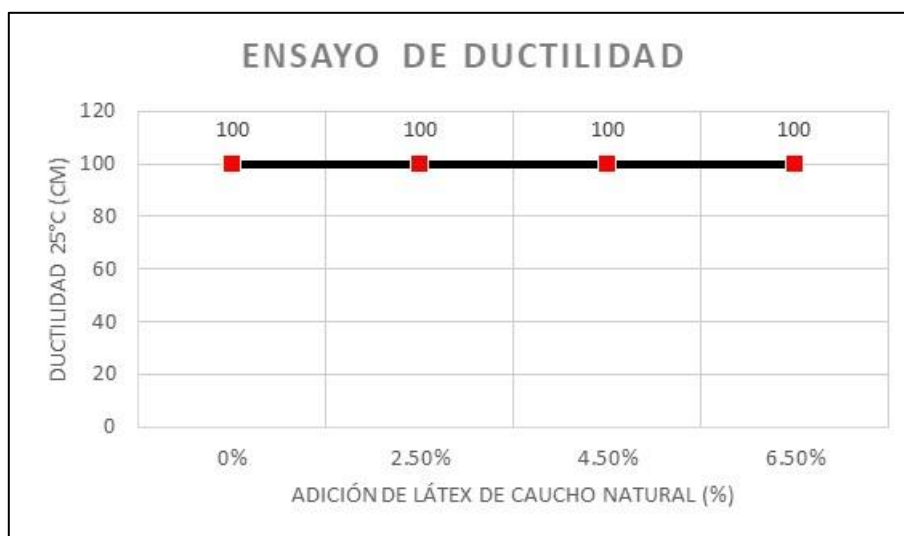
El ensayo de ductilidad se llevó a cabo persiguiendo la norma MTC E 306, que se manipula para medir la capacidad del betún de soportar deformaciones o elongaciones antes de sufrir daños. Este procedimiento es esencial para evaluar la flexibilidad y la resistencia del material en condiciones de estrés.

Tabla 40: Desempeño en el ensayo de ductilidad del C.A. patrón y modificado

Muestras	Ductilidad, 25°C, 5cm/min
	(cm)
C.A. patrón PEN 60/70	100
C.A. modificado PEN 60/70 + 2.5% LCN	100
C.A. modificado PEN 60/70 + 4.5% LCN	100
C.A. modificado PEN 60/70 + 6.5% LCN	100

Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 3: Ductilidad del C.A. patrón y modificado



Fuente: Desarrollo propio

### **Contenido óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica patrón**

La investigación diseñó una MAC para determinar el contenido óptimo de ligante, con incrementos del 0.5% entre 4% y 6%, para tráfico ligero y pesado, como se detalla en las Tablas 13 y 16.

### **Gradación del agregado pétreo**

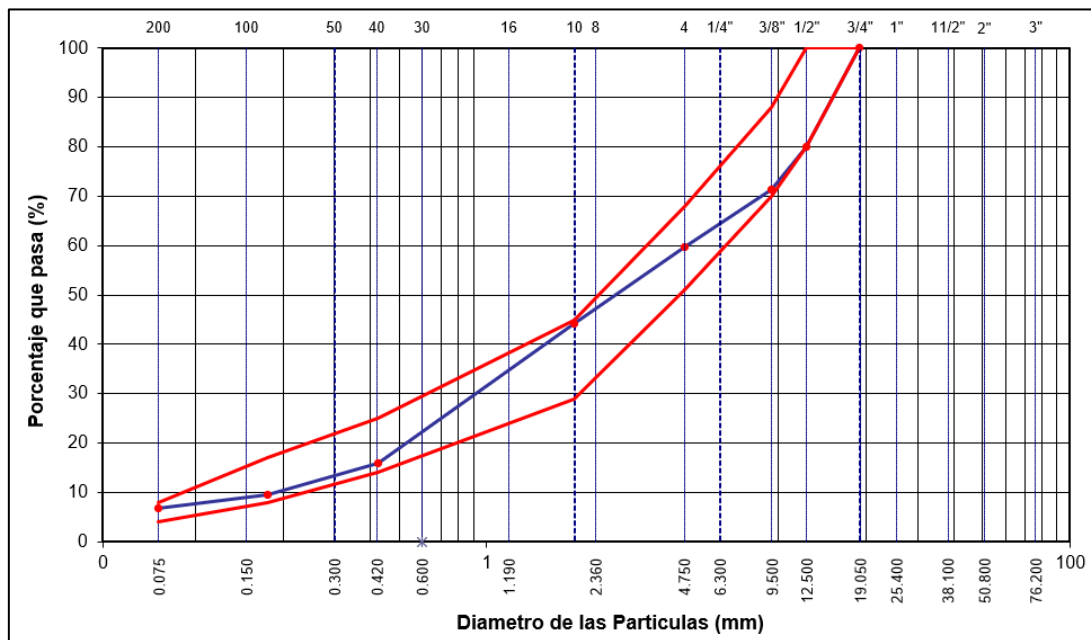
Se efectuó la combinación según lo presentado en la Tabla 41, para la gradación correspondiente al diseño MAC-2, ya que el TMN del agregado utilizado es de ½”.

Tabla 41: Resultado de gradación del agregado pétreo

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	%	RETENIDO	%	ESPECIFICACION	
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA		
3"	76.200					<b>MAC - 2</b>	
3/4"	19.000	0			100.0	80	100
1/2"	12.500	498	20.1	20.1	79.9	67	85
3/8"	9.500	212	8.5	28.6	71.4	60	77
Nº 4	4.750	290	11.7	40.3	59.7	43	54
Nº 10	2.000	325.0	15.5	55.8	44.2	29	45
Nº 40	0.425	590.0	28.2	84.0	16.0	14	25
Nº 80	0.177	135.0	6.4	90.5	9.5	8	17
Nº 200	0.075	60.0	2.9	93.3	6.7	4	8
< Nº 200	FONDO	140.0	6.7	100.0			

Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 4: Gradación del agregado pétreo - MAC 2



Fuente: Desarrollo propio

Los efectos de la gradación del material pétreo cumplen con las especificaciones establecidas por la MAC 2. Esto asegura que el material cumple con los criterios de calidad y rendimiento requeridos, garantizando su aptitud.

### Ensayo Marshall

Con los porcentajes de agregados definidos previamente se elaboraron diferentes dosificaciones para cada proporción de contenido de ligante asfáltico, como se muestra en la Tabla 42.

Tabla 42: Dosificaciones en porcentaje de la mezcla para ligante óptimo

Material	4% CA	4.5% CA	5% CA	5.5% CA	6% CA
Ag. Grueso	38.71%	38.51%	38.31%	38.10%	37.90%
Ag. Fino	52.01%	50.69%	47.67%	46.95%	46.23%
Filler	4.32%	5.35%	8.08%	8.51%	8.93%

Fuente: Desarrollo propio

A continuación, se exponen los resultados para cada porcentaje diferente de asfalto, para tráfico ligero y pesado.

Tabla 43: Desempeño en prueba de Marshall - MAC Patrón - Tráfico ligero

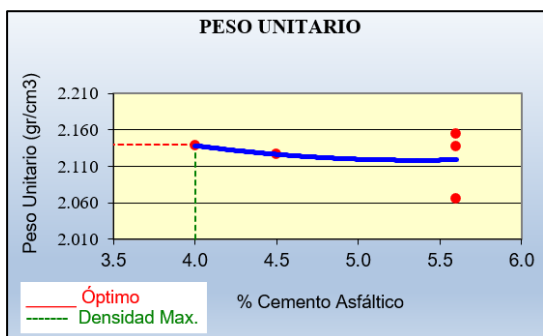
Parámetros	Und.	4% CA	4.5% CA	5% CA	5.5% CA	6% CA
Ag. Grueso en la mezcla	%	38.71%	38.51%	38.31%	38.10%	37.90%
Ag. Fino en mezcla	%	52.01%	50.69%	47.67%	46.95%	46.23%
Filler en la mezcla	%	4.32%	5.35%	8.08%	8.51%	8.93%
Peso esp. apar. del CA	g/cm <sup>3</sup>	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
Peso esp. Bulk del AG	g/cm <sup>3</sup>	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504
Peso esp. apar. del AG	g/cm <sup>3</sup>	2.535	2.535	2.535	2.535	2.535
Peso esp. Bulk del AF	g/cm <sup>3</sup>	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583
Peso esp. apar. del AF	g/cm <sup>3</sup>	2.590	2.590	2.590	2.590	2.590
Peso esp. apar. Filler	g/cm <sup>3</sup>	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
<b>Peso unit. de la briqueta</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.138</b>	<b>2.126</b>	<b>2.137</b>	<b>2.155</b>	<b>2.065</b>
<b>Peso esp. teórico máximo</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.591</b>	<b>2.605</b>	<b>2.640</b>	<b>2.662</b>	<b>2.680</b>
<b>% de vacíos con aire (Va)</b>	<b>%</b>	<b>17.48</b>	<b>18.36</b>	<b>19.04</b>	<b>19.05</b>	<b>22.93</b>
Peso esp. Bulk del AT	g/cm <sup>3</sup>	2.688	2.719	2.806	2.821	2.837
Peso esp. apar. del AT	g/cm <sup>3</sup>	2.733	2.765	2.853	2.869	2.885
Peso esp. efectivo del AT	g/cm <sup>3</sup>	2.741	2.781	2.884	2.912	2.935
<b>% de VMA</b>	<b>%</b>	<b>24.39</b>	<b>26.07</b>	<b>28.82</b>	<b>28.61</b>	<b>31.97</b>
<b>% de VFA</b>	<b>%</b>	<b>28.70</b>	<b>29.62</b>	<b>33.97</b>	<b>33.77</b>	<b>28.28</b>
<b>Estabilidad</b>	<b>kg</b>	<b>1953</b>	<b>1681</b>	<b>1582</b>	<b>1801</b>	<b>1857</b>
<b>Lectura del flexímetro</b>	<b>pulg.</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>
<b>Relación estabilidad/flujo</b>	<b>kg/cm</b>	<b>2562</b>	<b>2155</b>	<b>2047</b>	<b>2277</b>	<b>2264</b>

Fuente: Desarrollo propio

Los resultados exhibidos en la Tabla 43 del Ensayo Marshall para la MAC estándar, cuyo objetivo es establecer el contenido óptimo de asfalto para tráfico ligero, se consideró la altura

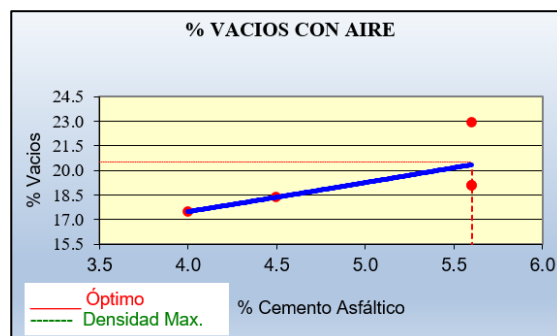
promedio, el peso en el aire, el peso superficialmente seco y el peso en el agua de las briquetas, formadas mediante 35 golpes por cada cara.

Gráfico 5: Peso unitario vs C. Asfalto – T. Ligero



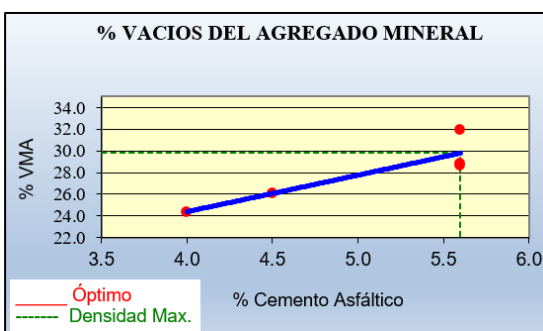
Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 6: % Vacíos vs C. Asfalto – T. Ligero



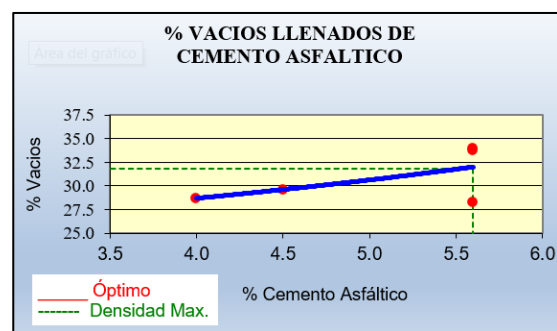
Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 7: % VMA vs C. Asfalto – T. Ligero



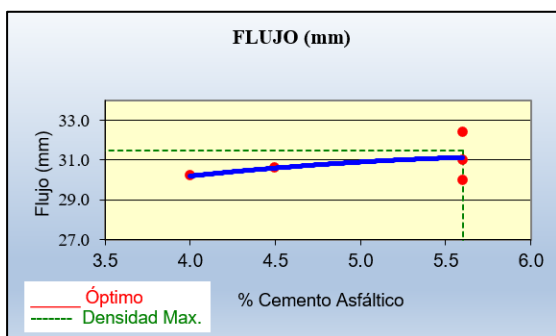
Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 8: % VFA vs C. Asfalto – T. Ligero



Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 9: Flujo vs C. Asfalto – T. Ligero



Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 10: Estabilidad vs C. Asfalto – T. Ligero



Fuente: Desarrollo propio

En los gráficos 5, 6, 7, 8, 9 y 10, se observan los parámetros de la metodología Marshall en función del acrecentamiento del contenido de ligante para una condición de tráfico ligero. Se nota que el peso unitario es mayor con un 4% de contenido de asfalto. Además, la proporción de vacíos ( $V_a$ ), la proporción de vacíos del agregado mineral (VMA) y la proporción de llenado de cemento asfáltico (VFA) son mayores con un contenido de asfalto entre el 5.5% y el 6%.

Finalmente, se observó un mayor flujo entre el 5.5% y el 6% de contenido de asfalto, y una mayor estabilidad con el 4% de asfalto.

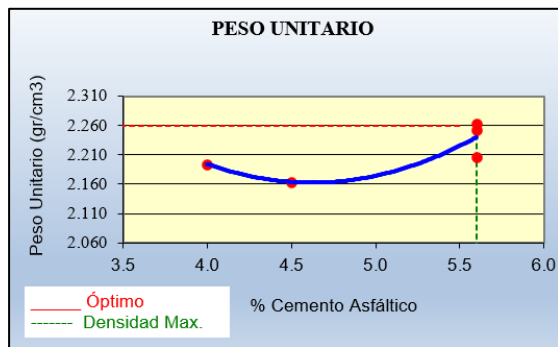
*Tabla 44: Desempeño en la prueba de Marshall - MAC Patrón - Tráfico pesado*

<b>Parámetros</b>	<b>Und.</b>	<b>4% CA</b>	<b>4.5% CA</b>	<b>5% CA</b>	<b>5.5% CA</b>	<b>6% CA</b>
Ag. Grueso en la mezcla	%	38.71%	38.51%	38.31%	38.10%	37.90%
Ag. Fino en mezcla	%	52.01%	50.69%	47.67%	46.95%	46.23%
Filler en la mezcla	%	4.32%	5.35%	8.08%	8.51%	8.93%
Peso esp. apar. del CA	g/cm <sup>3</sup>	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
Peso esp. Bulk del AG	g/cm <sup>3</sup>	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504
Peso esp. apar. del AG	g/cm <sup>3</sup>	2.535	2.535	2.535	2.535	2.535
Peso esp. Bulk del AF	g/cm <sup>3</sup>	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583
Peso esp. apar. del AF	g/cm <sup>3</sup>	2.590	2.590	2.590	2.590	2.590
Peso esp. apar. Filler	g/cm <sup>3</sup>	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
<b>Peso unit. de la briqueta</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.194</b>	<b>2.164</b>	<b>2.262</b>	<b>2.252</b>	<b>2.206</b>
<b>Peso esp. teórico máximo</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>	<b>2.728</b>	<b>2.631</b>	<b>2.728</b>	<b>2.645</b>	<b>2.659</b>
<b>% de vacíos con aire (Va)</b>	<b>%</b>	<b>19.58</b>	<b>17.77</b>	<b>17.07</b>	<b>14.83</b>	<b>17.02</b>
Peso esp. Bulk del AT	g/cm <sup>3</sup>	2.827	2.745	2.914	2.809	2.917
Peso esp. apar. del AT	g/cm <sup>3</sup>	2.875	2.792	2.964	2.856	2.967
Peso esp. efectivo del AT	g/cm <sup>3</sup>	2.903	2.813	2.997	2.890	2.908
<b>% de VMA</b>	<b>%</b>	<b>26.24</b>	<b>25.49</b>	<b>27.44</b>	<b>25.06</b>	<b>29.32</b>
<b>% de VFA</b>	<b>%</b>	<b>27.42</b>	<b>30.67</b>	<b>37.86</b>	<b>101.95</b>	<b>42.01</b>
<b>Estabilidad</b>	<b>kg</b>	<b>1894</b>	<b>2192</b>	<b>3345</b>	<b>3177</b>	<b>2543</b>
<b>Lectura del flexímetro</b>	<b>pulg.</b>	<b>32</b>	<b>30</b>	<b>28</b>	<b>32</b>	<b>30</b>
<b>Relación estabilidad/flujo</b>	<b>kg/cm</b>	<b>2374</b>	<b>2944</b>	<b>5127</b>	<b>3963</b>	<b>3441</b>

Fuente: Desarrollo propio

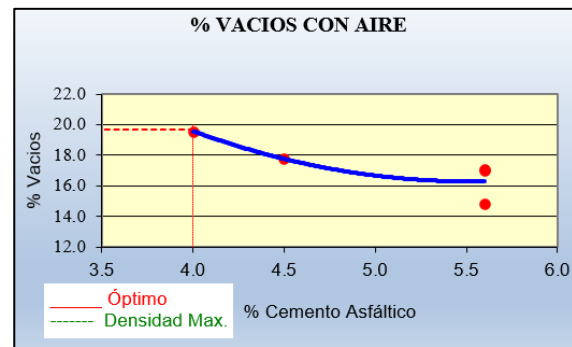
Los resultados presentados en la Tabla 44 del Ensayo Marshall para la MAC estándar, cuyo objetivo es decretar el contenido óptimo de betún para tráfico pesado, se consideró la altura promedio, el peso en el aire, el peso superficialmente seco y el peso en el agua de las briquetas, formadas mediante 75 golpes por cada cara.

Gráfico 11: Peso unitario vs C. Asfalto – T. Pesado



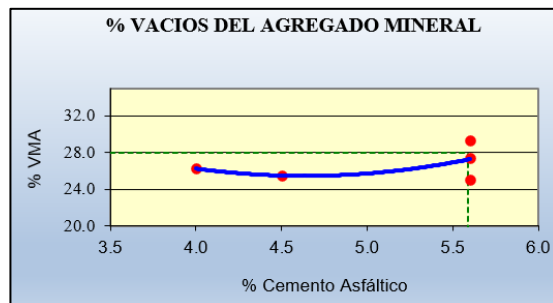
Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 12: % Vacíos vs C. Asfalto – T. Pesado



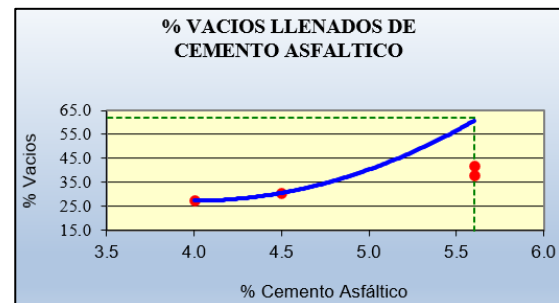
Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 13: % VMA vs C. Asfalto – T. Pesado



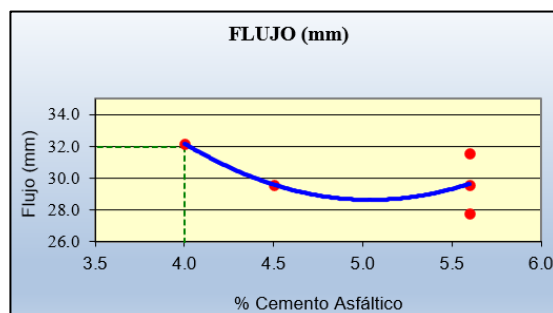
Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 14: % VFA vs C. Asfalto – T. Pesado



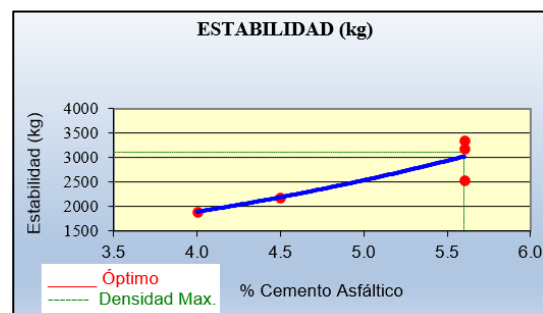
Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 15: Flujo vs C. Asfalto – T. Pesado



Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 16: Estabilidad vs C. Asfalto – T. Pesado



Fuente: Desarrollo propio

En los gráficos 11, 12, 13, 14, 15 y 16, se observan los parámetros de la metodología Marshall en función del acrecentamiento del contenido de ligante para una condición de tráfico pesado. Se nota que el peso unitario es mayor entre el 5% y 6% de contenido de ligante. Además, la proporción de vacíos ( $V_a$ ) es mayor para un 4% de contenido de asfalto, la proporción de vacíos del agregado mineral (VMA) y la proporción de llenado de cemento asfáltico (VFA) son mayores con un contenido de asfalto entre el 5.5% y el 6%. Finalmente, se observó una mayor entre el 5.5% y el 6% de contenido de ligante, y un mayor flujo con el 4% de ligante.

### *Determinación del contenido óptimo de asfalto*

El estudio de los manifiestos permitió determinar que el contenido óptimo de ligante asfáltico para la mixtura asfáltica bajo situaciones de tráfico ligero es del 4.5% y para el tráfico pesado es del 4.7%. Este porcentaje cumple con la mayoría de los requisitos determinados por la norma MTC E 504. Para confirmar este resultado, se elaboraron 5 briquetas.

*Tabla 45: Desempeño del contenido óptimo de ligante - Tráfico ligero*

Parámetros	Und.	Datos finales	Requerimiento MTC E 504	Cumple / No Cumple
<b>% Óptimo de CA</b>	%	4.5	-	-
<b>Peso unitario</b>	g/cm <sup>3</sup>	1.960	-	-
<b>Rice</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.605	-	-
<b>Va</b>	%	20.50	20 – 25	Cumple
<b>V.M.A</b>	%	29.80	15 mín.	Cumple
<b>V.F.A</b>	%	31.80	65 – 75	No Cumple
<b>Estabilidad</b>	kN	18.63	4.53 mín.	Cumple
<b>Flujo</b>	mm	8.00	8 – 20	Cumple
<b>Relación estabilidad – flujo</b>	Kg/cm	2155	1700 – 4000	Cumple
<b>Relación polvo – asfalto</b>	-	0.68	0.6 – 1.3	Cumple

Fuente: Desarrollo propio

*Tabla 46: Desempeño de contenido óptimo de ligante - Tráfico pesado*

Parámetros	Und.	Datos finales	Requerimiento MTC E 504	Cumple / No Cumple
<b>% Óptimo de CA</b>	%	4.7	-	-
<b>Peso unitario</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.260	-	-
<b>Rice</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.631	-	-
<b>Va</b>	%	20.00	20 – 25	Cumple
<b>V.M.A</b>	%	28.00	15 mín.	Cumple
<b>V.F.A</b>	%	62	65 – 75	No Cumple
<b>Estabilidad</b>	kN	30.59	8.15 mín.	Cumple
<b>Flujo</b>	mm	8.13	8 – 14	Cumple
<b>Relación estabilidad – flujo</b>	Kg/cm	2944	1700 – 4000	Cumple
<b>Relación polvo – asfalto</b>	-	0.70	0.6 – 1.3	Cumple

Fuente: Desarrollo propio

### Desarrollo del diseño de la mezcla asfáltica modificada

Para desarrollar el diseño de la MAC modificada con látex de caucho natural (LCN), se considerará el contenido óptimo de ligante para tráfico ligero (4.5%) y pesado (4.7%), añadiendo PEN modificado con un 2.5%, 4.5% y 6.5% de LCN.

### Ensayo Marshall

A continuación, se presentan los resultados del Peso Unitario y del Peso Específico Teórico Máximo (Rice), obtenidos a partir de la realización de 8 probetas por cada porcentaje evaluado. En el proceso se consideró tanto el peso como el volumen de las briquetas correspondientes a ambos niveles de tráfico. Para las muestras de tráfico ligero (C) se aplicaron 35 golpes por cara, mientras que para las de tráfico pesado se utilizaron 75 golpes por cara.

Tabla 47: Desempeño en la prueba de densidad a la MAC patrón y modificada

Nivel de tráfico	C.A	LCN	Peso Unitario	Rice
	(%)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )
(C) Ligero	4.5	0.0	2.00	2.301
	4.5	2.5	2.11	2.793
	4.5	4.5	2.15	2.400
	4.5	6.5	2.14	2.547
(A) Pesado	4.7	0.0	2.18	2.301
	4.7	2.5	2.32	2.555
	4.7	4.5	2.15	2.479
	4.7	6.5	2.18	2.547

Fuente: Desarrollo propio

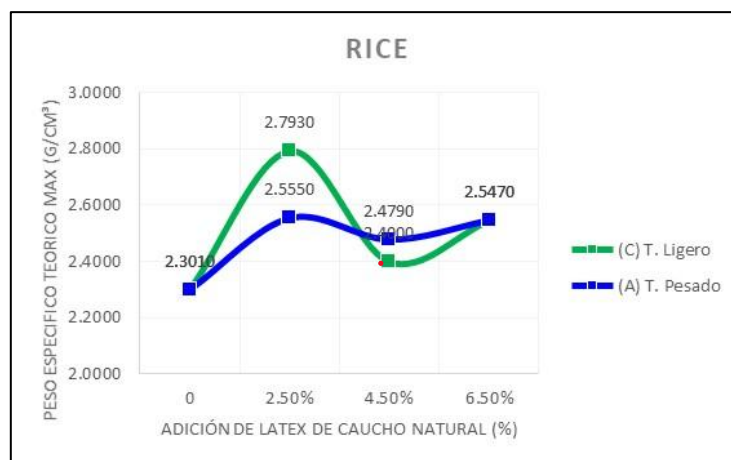
A partir de la tabla 47, se elaboraron los gráficos 17 y 18 con el fin de proporcionar un análisis más detallado de las densidades de la MAC, para ambos niveles de tráfico.

Gráfico 17: Peso unitario de la MAC patrón y modificada



Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 18: Rice de la MAC patrón y modificada



Fuente: Desarrollo propio

Entre las características más notables en la aplicación de la Metodología Marshall se consideran el porcentaje Va, VMA y VFA. Para determinar estos valores, se tuvo en cuenta el peso, el volumen y las densidades de las briquetas formadas. Los resultados de las proporciones de vacíos se muestran en la tabla sucesiva.

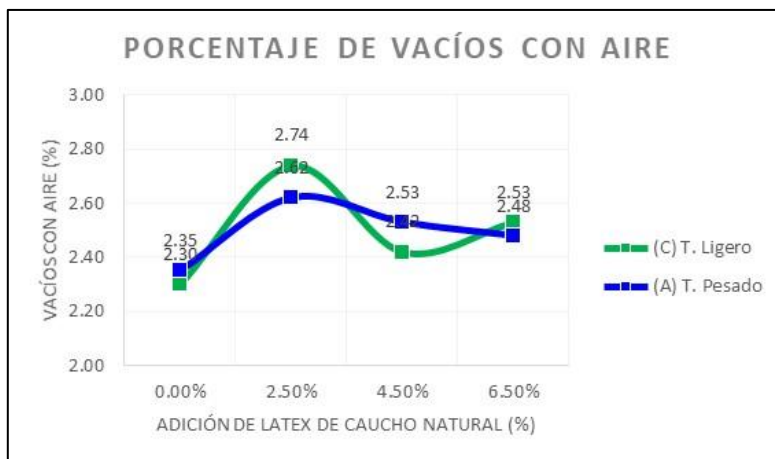
Tabla 48: Resultados de porcentaje de vacíos a la MAC patrón y modificada

	C.A.	Parámetros (%)	Requerimiento MTC E 504	Und	Látex de Caucho Natural			
					0.00%	2.50%	4.50%	6.50%
(C) Ligero	4.5%	Va	3 – 5	%	2.30	2.74	2.42	2.53
		VMA	65 – 75	%	18.03	27.59	17.35	20.34
		VFA	15 mín.	%	32.06	27.59	37.60	47.50
(A) Pesado	4.7%	Va	3 - 5	%	2.35	2.62	2.53	2.48
		VMA	65 – 75	%	12.60	19.95	21.25	17.13
		VFA	15 mín.	%	63.80	20.74	32.37	33.16

Fuente: Desarrollo propio

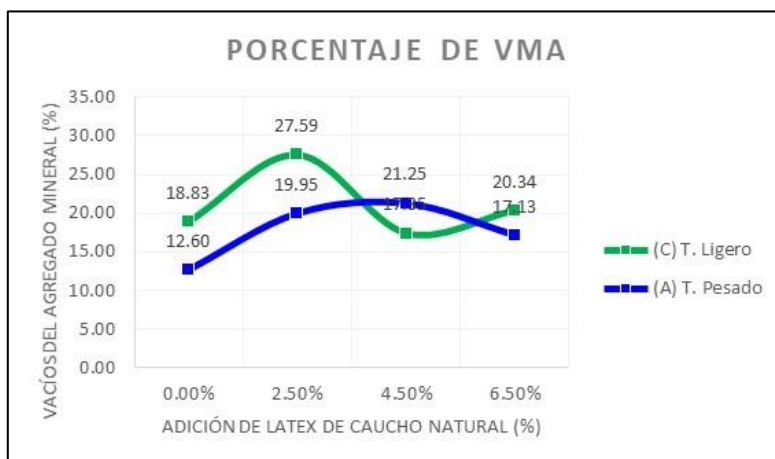
A partir de la tabla 48, se elaboraron los gráficos 19, 20 y 21 con el fin de proporcionar un análisis más detallado de los porcentajes de vacíos de la MAC, tanto en las briquetas modificadas como patrón, para ambos niveles de tráfico.

Gráfico 19: Porcentaje de Va de la MAC patrón y modificada



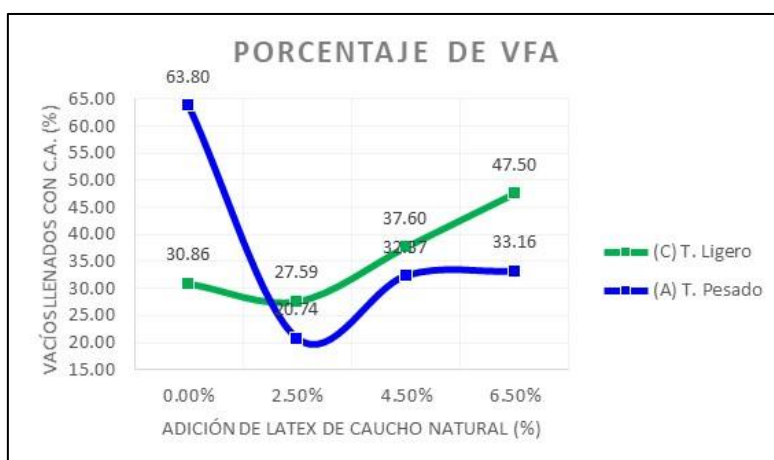
Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 20: Porcentaje de VMA de la MAC patrón y modificada



Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 21: Porcentaje de VFA de la MAC patrón y modificada



Fuente: Desarrollo propio

Finalmente, para cumplir con los objetivos de la Metodología Marshall, se muestran los resultados de Estabilidad y Fluencia, los cuales permiten analizar la atribución del látex de caucho natural en las propiedades mecánicas de las MAC.

Tabla 49: Desempeño de estabilidad y fluencia para la MAC patrón y modificada

	C.A.	Parámetros	MTC E 504	Und	Látex de Caucho Natural			
					0.00%	2.50%	4.50%	6.50%
					<b>(C) Ligero</b>	4.5%	Estabilidad	4.53 mín.
461.93 mín.	kg	2344.63	3186.84	2897.57				2929.38
Flujo	8 - 20	mm	8.57	8.57		8.54	8.03	
	30.5 – 78.74	pulg	33.75	33.75		33.63	31.63	
Relación E/F	1700 - 4000	kg/cm	2738.92	3765.38		3405.55	3642.15	
Relación P/A	0.6 – 1.3	-	1.19	1.19		1.19	1.19	
<b>(A) Pesado</b>	4.7%	Estabilidad	8.15 mín.	kN	31.24	36.06	29.85	29.61
			831.07 mín.	kg	3186.00	3192.96	3043.91	3019.33
	Flujo	8 – 14	mm	8.83	8.73	8.54	8.03	
		30.5 – 55.12	pulg	34.75	34.38	33.63	31.63	
	Relación E/F	1700 - 4000	kg/cm	3678.91	3665.39	3586.80	3769.43	
	Relación P/A	0.6 – 1.3	-	1.19	1.19	1.19	1.19	

Fuente: Desarrollo propio

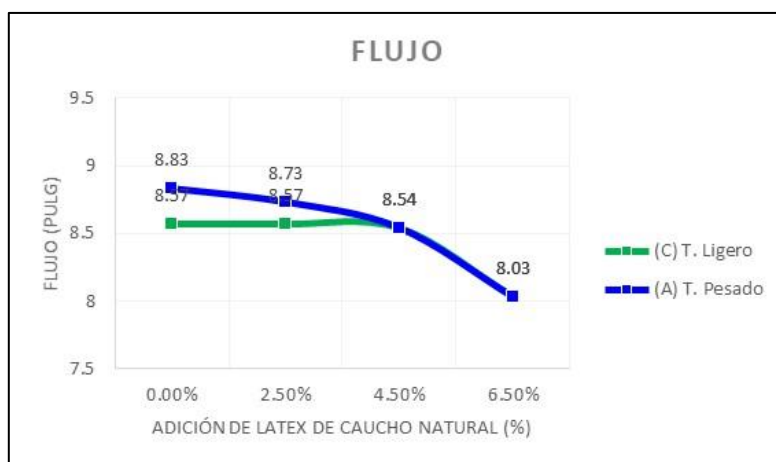
A partir de la tabla 49, se elaboraron los gráficos 22 y 23 con el fin de proporcionar un análisis más detallado de la estabilidad y fluencia de las MAC, tanto en las briquetas modificadas como patrón, para ambos niveles de tráfico.

Gráfico 22: Estabilidad de la MAC patrón y modificada



Fuente: Desarrollo propio

Gráfico 23: Flujo de la MAC patrón y modificada



Fuente: Desarrollo propio

**Pérdida por desgaste**

Se realizó el ensayo de pérdida por deterioro mediante el método Cántabro, con el objetivo de evaluar la firmeza mecánica de las mezclas asfálticas. Para este análisis, se elaboraron 4 briquetas para cada muestra, tanto para la mixtura patrón como para la modificada de 2.5%, 4.5% y 6.5% con látex de caucho natural. Los resultados permitirán comparar el comportamiento de ambas mezclas frente al desgaste, donde para ambos tráficos demostró el menor porcentaje de desgaste para una adición de 6.50% de LCN.

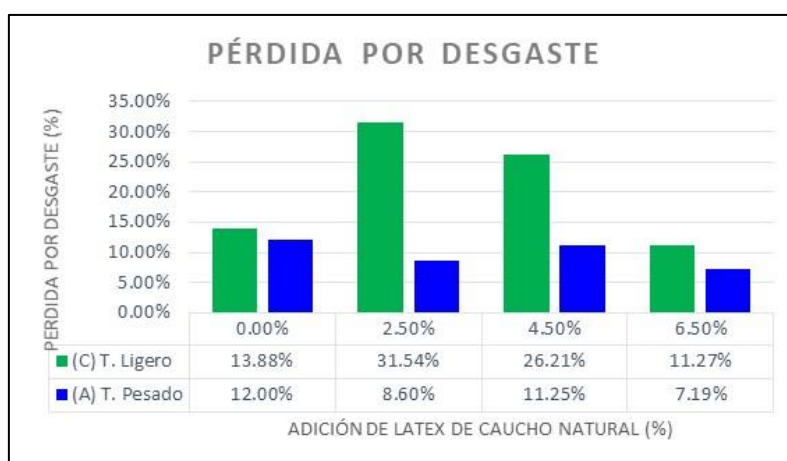
Tabla 50: Desempeño en el ensayo de cántabro para la MAC patrón y modificada

	C.A.	Parámetros	Und	Látex de Caucho Natural			
				0.00%	2.50%	4.50%	6.50%
(C) Ligero	4.5%	Desgaste promedio	%	13.88%	31.54%	26.21%	11.27%
(A) Pesado	4.7%	Desgaste promedio	%	12.00%	8.60%	11.25%	7.19%

Fuente: Desarrollo propio

A partir de la tabla 50, se elaboró el gráfico 24 con el fin de proporcionar un análisis más detallado de la proporción de pérdida por deterioro de la MAC, tanto en las briquetas modificadas como patrón, para ambos niveles de tráfico.

Gráfico 24: Pérdida por deterioro de la MAC patrón y modificada



Fuente: Desarrollo propio

***Inmersión – compresión***

La prueba de inmersión-compresión es una prueba de daño inducido por humedad. A continuación, se muestran los resultados conseguidos en las briquetas patrón y en las modificadas con un 2.5%, 4.5% y 6.5% de látex de caucho natural. Para cada porcentaje se fabricaron 8 briquetas, sumando un total de 64 briquetas para ambos niveles de tráfico.

A continuación, se muestran los resultados correspondientes al nivel de tráfico ligero.

Tabla 51: Desempeño en el ensayo de I-C para la MAC patrón y modificada – T. Ligero

	Muestra	Parámetros	Und	Látex de Caucho Natural			
				0.00%	2.50%	4.50%	6.50%
(C) Tráfico Ligero	Sumergida	Peso de la muestra seca al aire	gr	1066.90	1099.70	1097.00	1070.50
		Peso específico Bulk de la briketa	gr/cm <sup>3</sup>	2.00	2.20	2.10	2.00
		Peso específico teórico máximo	gr/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.70	2.60
		Porcentaje de vacíos	%	24.50	15.70	22.70	23.80
		Carga máxima	kg	276.33	262.50	223.75	220.00
	N		2710.83	2575.13	2194.99	2158.20	
	Seca	Peso de la muestra seca al aire	gr	1035.10	1118.20	1101.60	1085.10
		Peso específico Bulk de la briketa	gr/cm <sup>3</sup>	2.20	2.10	2.20	2.10
		Peso específico teórico máximo	gr/cm <sup>3</sup>	2.60	2.60	2.70	2.60
		Porcentaje de vacíos	%	17.60	18.70	16.40	20.1
Carga máxima		kg	341.70	315.00	283.00	278.50	
	N	3351.80	3090.20	2776.20	2732.10		
I-C	Resistencia retenida	%	<b>80.88</b>	<b>83.33</b>	<b>79.06</b>	<b>78.99</b>	

Fuente: Desarrollo propio

A partir de la tabla 51, se elaboró el gráfico 25 con el fin de proporcionar un análisis más detallado de la resistencia retenida de la MAC, tanto en las briquetas modificadas como patrón, para el nivel de tráfico ligero.

Gráfico 25: Resistencia retenida de la MAC patrón y modificada – T. Ligero



Fuente: Desarrollo propio

Ahora, se presentan los resultados correspondientes al nivel de tráfico pesado.

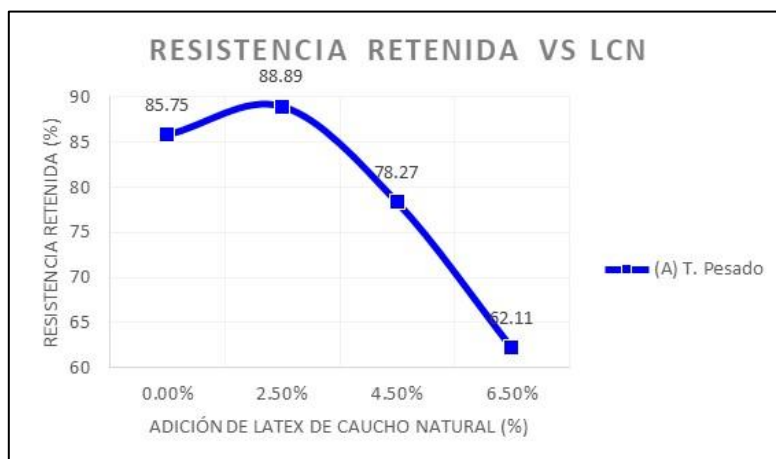
Tabla 52: Desempeño en el ensayo de I-C para la MAC patrón y modificada – T. Pesado

(A) Tráfico Pesado	Muestra	Parámetros	Und	Látex de Caucho Natural			
				0.00%	2.50%	4.50%	6.50%
	Sumergida		Peso de la muestra seca al aire	gr	1128.70	1121.50	1126.10
		Peso específico Bulk de la briketa	gr/cm <sup>3</sup>	1.90	1.90	2.00	1.90
		Peso específico teórico máximo	gr/cm <sup>3</sup>	2.50	2.50	2.60	2.5
		Porcentaje de vacíos	%	22.60	23.50	25.10	24.00
		Carga máxima	kg	496.25	302.00	382.75	198.75
	N		4868.21	2962.62	3754.78	1949.74	
Seca		Peso de la muestra seca al aire	gr	1066.10	1053.00	1071.70	1038.60
		Peso específico Bulk de la briketa	gr/cm <sup>3</sup>	1.80	2.00	2.10	2.20
		Peso específico teórico máximo	gr/cm <sup>3</sup>	2.50	2.50	2.60	2.50
		Porcentaje de vacíos	%	28.80	22.90	21.40	15.4
		Carga máxima	kg	578.80	339.80	489.00	320.00
	N		5677.50	3332.90	4797.10	3139.20	
I-C		<b>Resistencia retenida</b>	<b>%</b>	<b>85.75</b>	<b>88.89</b>	<b>78.27</b>	<b>62.11</b>

Fuente: Desarrollo propio

A partir de la tabla 52, se elaboró el gráfico 26 con el fin de proporcionar un análisis más detallado de la resistencia retenida de la MAC, tanto en las briquetas modificadas como patrón, para el nivel de tráfico pesado.

Gráfico 26: Resistencia retenida de la MAC patrón y modificada – T. Pesado



Fuente: Desarrollo propio

### Razón del esfuerzo a tensión indirecta

Finalmente, en cuanto a los ensayos de daño inducido por humedad, se presentan los resultados de la Razón de Esfuerzo a Tensión (TSR). Para cada porcentaje se fabricaron 8 briquetas, sumando un total de 64 briquetas para ambos niveles de tráfico.

Tabla 53: Resultados de TSR para la MAC patrón y modificada – T. Ligero

	Muestra	Parámetros	Und	Látex de Caucho Natural			
				0.00%	2.50%	4.50%	6.50%
(C) Tráfico Ligero	Sumergida	Carga máxima	kg	276.33	262.50	223.75	220.00
			N	2710.83	2575.13	2194.99	2158.20
		Fuerza tensible	kPa	<b>2.58</b>	<b>2.43</b>	<b>2.07</b>	<b>2.02</b>
	Seca	Carga máxima	kg	341.70	315.00	283.00	278.50
			N	3351.80	3090.20	2776.20	2732.10
		Fuerza tensible	kPa	<b>3.20</b>	<b>2.94</b>	<b>2.64</b>	<b>2.66</b>
I-C	Resistencia retenida	%	80.88	83.33	79.06	78.99	
TSR	Razón del esfuerzo a tensión	%	<b>80.57</b>	<b>82.68</b>	<b>78.45</b>	<b>76.00</b>	

Fuente: Desarrollo propio

A partir de la tabla 53, se elaboró el gráfico 27 con el fin de proporcionar un análisis más detallado de la razón de esfuerzo a tensión (TSR) de la MAC, tanto en las briquetas modificadas como patrón, para el nivel de tráfico ligero.

Gráfico 27: TSR de la MAC patrón y modificada – T. Ligero



Fuente: Desarrollo propio

Ahora, se presentan los resultados correspondientes al nivel de tráfico pesado.

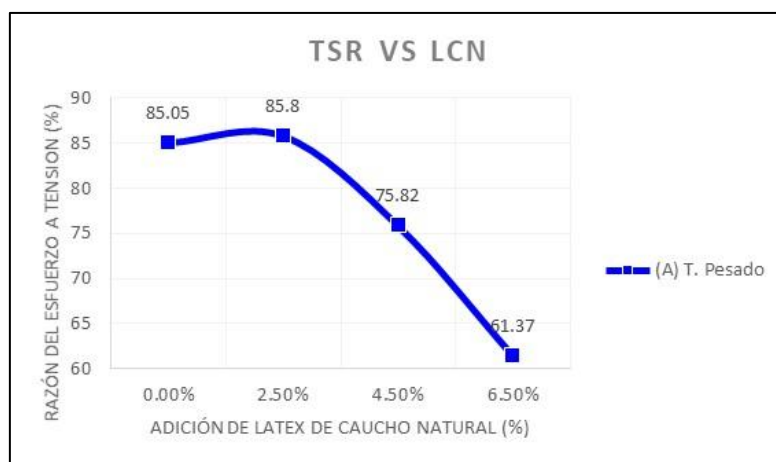
Tabla 54: Resultados de TSR para la MAC patrón y modificada - T. Pesado

	Muestra	Parámetros	Und	Látex de Caucho Natural			
				0.00%	2.50%	4.50%	6.50%
(A) Tráfico Pesado	Sumergida	Carga máxima	kg	496.25	302.00	382.75	198.75
			N	4868.21	2962.62	3754.78	1949.74
		Fuerza tensible	kPa	<b>4.58</b>	<b>2.79</b>	<b>3.54</b>	<b>1.88</b>
	Seca	Carga máxima	kg	578.80	339.80	489.00	320.00
			N	5677.50	3332.90	4797.10	3139.20
		Fuerza tensible	kPa	<b>5.39</b>	<b>3.25</b>	<b>4.67</b>	<b>3.07</b>
I-C	Resistencia retenida	%	85.75	88.89	78.27	62.11	
TSR	Razón del esfuerzo a tensión	%	<b>85.05</b>	<b>85.80</b>	<b>75.82</b>	<b>61.37</b>	

Fuente: Desarrollo propio

A partir de la tabla 54, se elaboró el gráfico 28 con el fin de proporcionar un análisis más detallado de la razón de esfuerzo a tensión (TSR) de la MAC, tanto en las briquetas modificadas como patrón, para el nivel de tráfico pesado.

Gráfico 28: TSR de la MAC patrón y modificada – T. Pesado



Fuente: Desarrollo propio

**Costo de fabricación de la MAC modificada**

Se realizó el análisis correspondiente a un metro cúbico de la MAC convencional, obteniéndose un valor total de 365.29 soles. Este análisis incluye la evaluación de los materiales directos empleados en la producción de la mixtura.

Tabla 55: Costo de la MAC convencional por m<sup>3</sup>

Descripción	Und	Cantidad	Precio		
			Unitario	Parcial	Total
<b>Materiales</b>					<b>S/ 365.29</b>
Arena gruesa	m <sup>3</sup>	0.322	S/ 65.00	S/ 20.93	
Piedra chancada 1/2"	m <sup>3</sup>	0.475	S/ 75.00	S/ 35.63	
Cemento Portland Tipo I	bol	0.009	S/ 45.00	S/ 0.41	
Cemento asfáltico 60/70	gl	14.895	S/ 20.70	S/ 308.33	
					S/ 365.29

Fuente: Desarrollo propio

Se analizó un metro cúbico de MAC modificada con 2.5% de LCN, optimizando sus propiedades mecánicas, con un costo de 376.09 soles.

Tabla 56: Costo de la MAC modificada por m<sup>3</sup>

Descripción	Und	Cantidad	Precio		
			Unitario	Parcial	Total
<b>Materiales</b>					<b>S/ 376.09</b>
Arena gruesa	m <sup>3</sup>	0.322	S/ 65.00	S/ 20.93	
Piedra chancada 1/2"	m <sup>3</sup>	0.475	S/ 75.00	S/ 35.63	
Cemento Portland Tipo I	bol	0.009	S/ 45.00	S/ 0.41	
Cemento asfáltico 60/70	gl	14.895	S/ 20.70	S/ 308.33	
LCN	kg	1.000	S/ 10.80	S/ 10.80	
					<b>S/ 376.09</b>

Fuente: Desarrollo propio

Se elaboró el análisis de precio unitario (APU) para la mezcla asfáltica en caliente (MAC) convencional, destacando que dicho precio incluye únicamente el costo de la mezcla transportada hasta el punto de disposición final y colocación, excluyendo la preparación de la MAC in situ. El valor obtenido para este análisis fue de 30.78 soles.

Tabla 57: APU de la MAC convencional

Partida:						
<b>Carpeta asfáltica en caliente de 2" c/equipo mezcla adq.</b>						
Rendimiento:		1250 m <sup>2</sup> /día	Costo unitario por: m <sup>2</sup>		S/ 30.78	
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>Mano de Obra</b>					<b>S/ 1.49</b>	
Operario	hh	2.000	0.0064	S/ 28.10	S/ 0.18	
Oficial	hh	1.000	0.0128	S/ 22.09	S/ 0.28	
Peon	hh	8.000	0.0512	S/ 19.99	S/ 1.02	
<b>Materiales</b>					<b>S/ 26.79</b>	
MAC convencional	m <sup>3</sup>		0.0650	S/ 365.29	S/ 23.74	
Transporte de mezcla c/volquete 10m <sup>3</sup> D=30	m <sup>3</sup>		0.0650	S/ 46.90	S/ 3.05	
<b>Equipos y herramientas</b>					<b>S/ 2.50</b>	
Herramientas manuales	%MO		3.0000	1.49	S/ 0.04	
Rodillo neumatico autopropulsado 81-100HP 5.5 - 20ton/hm	hm	1.000	0.0064	141.87	S/ 0.91	
Rodillo tandem estatico 58- 70HP 8-10 ton	hm	1.000	0.0064	66.42	S/ 0.43	
Pavimentadora sobre orugas 69HP 10-16"	hm	1.000	0.0064	174.95	S/ 1.12	

Fuente: Desarrollo propio

Por último, se efectuó el análisis de precio unitario (APU) para la mezcla asfáltica en caliente (MAC) modificada, siendo el valor obtenido para este análisis de 31.48 soles

*Tabla 58: APU de la MAC modificada*

Partida:						
<b>Carpeta asfáltica en caliente de 2" c/equipo mezcla adq.</b>						
Rendimiento: 1250 m <sup>2</sup> /día			Costo unitario por: m <sup>2</sup>		S/ 31.48	
Descripción	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>Mano de Obra</b>						<b>S/ 1.49</b>
Operario	hh	2.000	0.0064	S/ 28.10	S/ 0.18	
Oficial	hh	1.000	0.0128	S/ 22.09	S/ 0.28	
Peon	hh	8.000	0.0512	S/ 19.99	S/ 1.02	
<b>Materiales</b>						<b>S/ 27.49</b>
MAC modificada	m <sup>3</sup>		0.0650	S/ 376.09	S/ 24.45	
Transporte de mezcla c/volquete 10m <sup>3</sup> D=30	m <sup>3</sup>		0.0650	S/ 46.90	S/ 3.05	
<b>Equipos y herramientas</b>						<b>S/ 2.50</b>
Herramientas manuales	%MO		3.0000	1.49	S/ 0.04	
Rodillo neumatico autopulsado 81-100HP 5.5 - 20ton/hm	hm	1.000	0.0064	141.87	S/ 0.91	
Rodillo tandem estatico 58- 70HP 8-10 ton	hm	1.000	0.0064	66.42	S/ 0.43	
Pavimentadora sobre orugas 69HP 10-16"	hm	1.000	0.0064	174.95	S/ 1.12	

Fuente: Desarrollo propio

## Discusiones

1. El primer objetivo específico es definir las propiedades del material granular en la MAC de acuerdo con las especificaciones del MTC, en la Tabla 59 se exhiben los resultados y el cumplimiento de los requisitos, por lo que el material granular se considera aceptable. Es importante señalar que este objetivo no se centra en la caracterización del LCN; sin embargo, en el Anexo 12 se incluyen los resultados del análisis químico.

*Tabla 59: Tabla de desempeño en los ensayos al material granular*

Ensayo	Norma	Requerimiento	Resultados	
Durabilidad – AG	MTC E 209	18% máx.	16.90%	Cumple
Durabilidad – AF	MTC E 209	-	7.60%	Cumple
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	12.50%	Cumple
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	9.60%	Cumple
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50 máx.	67/73	Cumple
Sales solubles – AG	MTC E 219	0.5% máx.	0.05%	Cumple
Sales solubles – AF	MTC E 219	0.5% máx.	0.07%	Cumple
Absorción – AG	MTC E 206	1.0% máx.	0.87%	Cumple
Absorción – AF	MTC E 205	0.5% máx.	0.48%	Cumple
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	2	Cumple
Índice de plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP	Cumple
Índice de plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	3.82	Cumple
Tamaño y gradación	MAC 2 (1/2")	67 - 85	79.90	Cumple

Fuente: Desarrollo propio

2. El segundo objetivo específico es caracterizar la penetración y ductilidad del ligante asfáltico patrón y modificado con látex de caucho natural. El desempeño en el ensayo de penetración al cemento asfáltico estándar mostró 65 mm, cumpliendo con el rango establecido por la norma, entre 60 mm y 70 mm. Para el cemento asfáltico modificado con porcentajes de 2.5%, 4.5% y 6.5% de LCN, se obtuvieron valores de 60 mm, 53 mm y 45 mm respectivamente (Gráfico 2). Aunque estos resultados no se ajustan al rango detallado por la pauta MTC E 304, la añadidura de LCN mejora la penetración del cemento asfáltico al reducirla. La adición del 6.5% de LCN demostró la mayor reducción de penetración, con un 30.77% menos en paralelo con el ligante asfáltico convencional. Al comparar con la indagación de Jitsangiam et al. [10], se observó que un contenido entre el 3% y 7% de látex reduce la penetración a 60 mm y 50 mm, respectivamente. Asimismo, Hassan et al. [11] registraron una penetración de 43 mm al

utilizar un 10% de látex. En este contexto, los resultados logrados en la presente indagación son sólidos y están en concordancia con estudios previos.

Respecto al desempeño en la prueba de ductilidad para el ligante asfáltico estándar y modificado mostraron una ductilidad igual de 100 cm (Gráfico 3). Si bien la adición de LCN no mejora este parámetro, se halla dentro del condición señalada por la pauta MTC E 306. Al compararlo con la investigación de Jitsangiam et al. [10], se demostró que con un contenido de látex entre el 3% y el 7%, la ductilidad se mantuvo constante en 150 cm. Aunque los resultados de ductilidad de esta investigación difieren de los estudios previos, ambos coinciden en que la ductilidad se mantiene a pesar del aumento en el contenido de LCN. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo los ensayos pertinentes en la MAC para valorar el rendimiento de la adición de LCN.

3. El tercer objetivo de esta investigación es determinar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla asfáltica patrón, utilizando el Método Marshall. Para ello, se realizaron ensayos en mezclas destinadas a dos tipos de tráfico: ligero y pesado.

Para el tráfico ligero (Tabla 45), se estableció un contenido óptimo de ligante del 4.5%, obteniéndose una estabilidad de 18.63 kN y un flujo de 8 mm, lo que resulta en una relación estabilidad-flujo de 2155 kg/cm. En el caso del tráfico pesado (Tabla 46), se determinó un contenido óptimo de asfalto del 4.7%, con una estabilidad de 30.59 kN y un flujo de 8.13 mm, generando una relación estabilidad-flujo de 2944 kg/cm.

A diferencia de los estudios previos, en los cuales se evaluó la influencia del látex de caucho natural (LCN) para varios porcentajes de contenido de ligante patrón, en la presente investigación primero se determinó el contenido óptimo de ligante y, con base en ese valor, se añadió el LCN. Si bien no se presentan controversias respecto a los resultados, estos cumplen con los requisitos señalados bajo la metodología Marshall y MTC.

4. El cuarto objetivo de la investigación es desarrollar el diseño de una MAC modificada, utilizando el contenido óptimo de asfalto estándar y aplicando el Método Marshall. Aunque este objetivo está estrechamente vinculado al quinto, es fundamental destacar que, para lograr un diseño adecuado de la MAC, esta debe cumplir con los parámetros señalados por la metodología Marshall. Indagaciones previas, como las de Abdunaser et al. [12], Nisumanti et al. [13] y Mohammad et al. [14], señalan que sus diseños de mezcla se basaron en las normativas estandarizadas ASTM D 6926, ASTM D 6927 y AASHTO, que estipulan el uso de tres muestras o briquetas. No obstante, los dos primeros investigadores no mencionan con exactitud la cantidad de briquetas

empleadas, mientras que el tercero especifica el uso de únicamente 45 briquetas. En esta investigación, se ha determinado emplear 50 briquetas (Tabla 16) para calcular el contenido óptimo de betún para las MAC de ambos tipos de tráfico y 224 briquetas (Tabla 17) para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las MAC. En total, con 274 muestras o briquetas, se busca reducir el margen de error en los resultados.

5. El quinto objetivo busca analizar las propiedades físicas (densidad y vacíos) y mecánicas (estabilidad, fluencia, desgaste, TSR e inmersión-compresión) tanto de la mezcla asfáltica patrón como de la modificada.

En cuanto a la densidad, se evaluaron dos parámetros: el peso unitario (Gráfica 17) y el peso específico teórico máximo (Gráfica 18). Se observó que el peso unitario de la MAC patrón y la modificada con 2.50% de LCN varía significativamente, excepto en las mezclas modificadas con 4.50% y 6.50% de LCN. Esto se debe a que, a medida que aumenta el contenido de LCN, la trabajabilidad de la mezcla se ve afectada, haciéndola más seca y rígida desde el inicio de la conformación de las briquetas, lo cual impacta en las propiedades mecánicas y su relación con el número de golpes aplicados. En la investigación de Nisumanti et al. [13], se obtuvo una densidad de 2.28% con un 3% de LCN, mientras que en el presente estudio se alcanzó una densidad de 2.23% con un 2.5% de LCN para tráfico pesado. Este parámetro será crucial para el análisis de los resultados futuros. Del mismo modo, el peso específico teórico máximo muestra una tendencia similar: para la mezcla con 2.50% de LCN, los resultados son coherentes, lo que sugiere que este porcentaje ofrece el mejor desempeño y resultados más consistentes a lo largo de la investigación.

En cuanto a los vacíos, se analizaron tres parámetros clave según la metodología Marshall: el porcentaje de  $V_a$  (Gráfica 19), el porcentaje de VMA (Gráfica 20) y el porcentaje de VFA (Gráfica 21). Los resultados obtenidos no cumplen con los rangos mínimos establecidos por la normativa del MTC, lo cual puede atribuirse a la adición de LCN, que ha alterado significativamente la estructura de vacíos. Con un 2.5% de LCN, se observó la menor proporción de vacíos de aire ( $V_a$ ), alcanzando un 2.62%, Nisumanti et al. [13] en su investigación obtiene para un porcentaje del 3% de LCN un  $V_a$  de 5.00%. Aunque los porcentajes de  $V_a$  con 4.5% y 6.5% de LCN también son bajos, no son consistentes, ya que los valores para tráfico ligero y pesado son muy similares, lo cual es inusual, dado que el número de golpes aplicados es mayor para el tráfico pesado. En el caso del porcentaje de VMA, la mezcla modificada con 2.5% de LCN se destaca, mostrando una tendencia favorable y el valor más bajo (19.95%) para

tráfico pesado, comparando con la investigación de Nisumanti et al. [13] obtienen para un 3% de LCN un VMA de 17.80%.

Respecto a la estabilidad (Gráfica 22) y el flujo (Gráfica 23), los resultados de la MAC tanto en su versión estándar como modificada (Tabla 49) consuman con lo determinado por la pauta MTC 504. Se observa que la MAC modificada con un 2.50% de LCN para tráfico ligero presenta una estabilidad de 3186.84 kg y un flujo de 33.75 mm, mientras que para tráfico pesado alcanza una estabilidad de 3192.96 kg y un flujo de 34.38 mm. Mientras que las investigaciones de Nisumanti et al. [13] demuestran una estabilidad de 3201.10 kg y flujo de 2.4mm para un porcentaje del 3% de LCN, Mohammad et al. [14] obtiene una estabilidad de 1104.72 kg y flujo de 3.4mm para una mixtura de LCN (7%-9%) y Cenizas Volantes (4%-6%). Además, se confirma que al incrementar el porcentaje de LCN, los resultados de estabilidad son similares y el flujo permanece constante, lo cual se debe a la compleja trabajabilidad de la mezcla al ser compactada. Para profundizar en la investigación, se evaluó también la proporción de pérdida por deterioro de las MAC mediante la prueba de Cantabro. Los resultados (Tabla 50) muestran que, al aumentar el porcentaje de LCN, disminuye el porcentaje de pérdida por desgaste. En particular, la MAC modificada con un 6.50% de LCN presentó una pérdida del 11.27% para tráfico ligero y del 7.19% para tráfico pesado, valores que son inferiores a los de la MAC estándar en cuanto a pérdida por desgaste.

Para concluir el análisis de las propiedades mecánicas de las MAC según lo dispuesto por la norma MTC 504, se evaluaron los parámetros de inmersión-compresión y la razón de esfuerzo a tracción indirecta mediante el ensayo de Lottman. En cuanto a la inmersión-compresión (Tablas 51 y 52), la MAC modificada con un 2.5% de LCN fue la que mostró la mayor resistencia retenida: 83.33% para tráfico ligero (Gráfico 25) y 88.89% para tráfico pesado (Gráfico 26). Los resultados para las MAC modificadas con mayores porcentajes de LCN se encuentran en el límite de lo permitido por la norma y tienden a disminuir, debido a los problemas de trabajabilidad previamente mencionados. En la misma línea, se analizaron los resultados de la razón de esfuerzo a tracción (TSR) (Tablas 53 y 54), donde se confirma que la única MAC modificada que desempeña con lo exigido por la norma MTC E 504 es la que contiene un 2.5% de LCN, con valores de 82.68% para tráfico ligero y 85.80% para tráfico pesado.

6. El sexto y último objetivo es calcular el costo de fabricación de la MAC modificada. Para ello, se consideró el porcentaje de adición de LCN que tiene mayor impacto en las propiedades físico-mecánicas de la mezcla, correspondiente al 2.5%. El costo de los

materiales para un metro cúbico de MAC modificada con 2.5% de LCN asciende a 545.29 soles, superando el costo de un metro cúbico de MAC convencional, que es de 365.29 soles. Además, se llevó a cabo el análisis de precios unitarios (APU) de la MAC modificada, teniendo en cuenta que dicho análisis solo considera la aplicación de la mezcla y no su elaboración in situ. El costo resultante es de 42.48 soles por m<sup>2</sup> para la MAC modificada, en comparación con los 30.78 soles por m<sup>2</sup> para la mezcla convencional.

## Conclusiones

1. Se definieron las propiedades del material granular utilizado en la mezcla asfáltica conforme a las especificaciones del MTC. De este modo, se cumplieron todos los ensayos y requisitos establecidos para los materiales granulares finos, gruesos y la gradación, lo que confirma que son aptos para el diseño de una MAC.
2. Se caracterizaron las propiedades de penetración y ductilidad del cemento asfáltico patrón y del modificado con látex de caucho natural (LCN). Se constató que el aumento en el porcentaje de LCN tiene un efecto positivo, reduciendo la penetración en un 30.77% y manteniendo la ductilidad en comparación con el asfalto PEN 60/70 estándar, obteniéndose valores de 45 mm para la penetración y 100 cm para la ductilidad.
3. Se estableció el contenido óptimo de ligante para la MAC estándar mediante el Método Marshall. Se concluyó que, para una mezcla asfáltica en caliente (MAC) bajo carga de tráfico ligero, el contenido óptimo de ligante es del 4.50%, con una estabilidad de 18.63 kN y un flujo de 8 mm. Para una MAC bajo carga de tráfico pesado, el contenido óptimo es del 4.70%, con una estabilidad de 30.59 kN y un flujo de 8.13 mm. Ambos contenidos cumplen ampliamente con las exigencias mínimas señaladas por la MTC 504, que exige una estabilidad mínima de 4.53 kN y un flujo de 8 mm.
4. Se elaboró el diseño de una MAC modificada empleando el contenido óptimo de ligante estándar y siguiendo el Método Marshall. Se verificó que las propiedades del material granular son adecuadas y que el ligante asfáltico modificado con látex de caucho natural (LCN) ofrece un rendimiento significativamente mejor que el convencional. Asimismo, la mixtura desempeña con los requisitos señalados por el Método Marshall y la normativa MTC 504 para cargas de tráfico tanto ligero como pesado. Para esta investigación, se produjeron un total de 274 briquetas.
5. Se analizaron las propiedades físicas (densidad y vacíos) y mecánicas (estabilidad, fluencia, desgaste, TSR e inmersión-compresión) de la MAC estándar y la modificada. Se concluye que la añadidura del 2.5% de látex de caucho natural (LCN) mejora varias de estas propiedades. En tráfico ligero, la densidad aumentó de 1.98% a 2.11%, mientras que en tráfico pesado pasó de 2.18% a 2.23%. El contenido de vacíos ( $V_a$ ) se incrementó de 2.30% a 2.74% en tráfico ligero y de 2.35% a 2.74% en tráfico pesado. La estabilidad mejoró de 22.99 kN a 31.25 kN para tráfico ligero y de 31.24 kN a 36.06 kN para tráfico pesado. Para el tráfico pesado, el flujo disminuyó de 8.83 pulgadas a 8.73 pulgadas. La resistencia retenida aumentó de 80.88% a 83.33% para tráfico ligero y de 85.75% a 88.89% para tráfico pesado. Asimismo, el TSR mejoró de 80.57% a 82.68% en tráfico

ligero y de 85.05% a 85.80% en tráfico pesado. En cuanto a la pérdida por desgaste, la adición del 6.5% de LCN redujo el desgaste de 13.88% a 11.27% en tráfico ligero y de 12.00% a 7.19% en tráfico pesado.

6. Se calculó el precio de producir la MAC modificada es de 545.29 soles por metro cúbico, más alto que los 365.29 soles de la mezcla convencional. Además, el APU de una carpeta asfáltica de 2 pulgadas con mezcla modificada es de 42.48 soles, frente a los 30.78 soles de la convencional, lo que implica un incremento de 11.70 soles por metro cuadrado al usar látex de caucho natural (LCN).

## Recomendaciones

1. Se recomienda seguir utilizando los materiales granulares definidos por el MTC, ya que cumplen con las exigencias para las MAC, asegurando calidad y durabilidad en pavimentos. Además, se sugiere emplear las canteras "La Victoria" y "Tres Tomás" como fuentes de estos materiales.
2. Se recomienda usar LCN en estado sólido, cortado en partículas pequeñas para asegurar la homogeneidad en el cemento asfáltico, evitando el estado líquido por su alto contenido de agua. No exceder el 4.5% de LCN para mantener la trabajabilidad. Además, se sugiere investigar parámetros adicionales como la viscosidad, el punto de inflamación y solubilidad en tricloroetileno.
3. Se recomienda investigar el desarrollo de diseños de MAC con porcentajes de asfalto superiores al rango de 4.5% a 6.5%, para evaluar el impacto del LCN utilizando la metodología Marshall. Asimismo, se sugiere explorar su comportamiento bajo metodologías más avanzadas, como Superpave u otras actuales, y considerar el uso de diferentes grados de PEN en las pruebas.
4. Se invita a investigar el material granular de canteras distintas a las consideradas en este estudio y a evaluar las MAC compactas bajo condiciones de tráfico intermedio. Los ensayos deben llevarse a cabo en laboratorios acreditados y en condiciones adecuadas. Además, se sugiere aplicar estos estudios en un tramo de prueba de área mínima, expuesto a condiciones de clima lluvioso para analizar su rendimiento real.
5. Se recomienda realizar ensayos complementarios para evaluar los aspectos mecánicos de las MAC. Estos ensayos deben incluir métodos para determinar el módulo dinámico, evaluar las deformaciones permanentes y analizar la vida a la fatiga bajo condiciones de flexión repetida. Además, se sugiere que cada ensayo se lleve a cabo como una investigación individual, considerando la extensión de las muestras y los aspectos económicos involucrados.
6. Finalmente, se recomienda investigar adiciones de látex de caucho natural (LCN) inferiores al 3%. Esto permitirá no solo analizar su atribución en las propiedades de las MAC, sino también considerar ajustes en el precio y su aplicación en diferentes análisis de precios unitarios.

## Referencias

- [1] A. Andrade, G. Castillo y C. Chacater, “Efectos de la variabilidad de los datos iniciales en el índice de condición del pavimento y predicción de su deterioro”, *Novasinerгия*, vol. 4, n° 1, pp. 102-114, mayo 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.06>. Acceso en: septiembre 2023
- [2] N. Ríos, B. Bacca, E. Caicedo y A. Orobio, “Revisión de métodos de fallas superficiales en pavimentos flexibles”, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 30, n° 2, pp. 109-127, diciembre 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18359/rcin.4385>. Acceso en: septiembre 2023.
- [3] O. Adrianzen, J. Azula, C. Pacherras y S. Muñoz, “Uso de distintos tipos de fibras para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica: Una revisión literaria”, *Infraestructura Vial*, vol. 24, n° 43, pp. 56-72, diciembre 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15517/iv.v24i43.47931>. Acceso en: septiembre 2023.
- [4] R. Vasconcelos et al., “Mapping of pathological manifestations in asphalt pavement through the use of drones”, *Alconpat*, vol. 11, n° 1, pp. 61-72, abril 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.521>. Acceso en: septiembre 2023.
- [5] C. Salazar y J. Florián, “Conectividad vial y economías ilícitas en la amazonia peruana”, *Kawsaypacha*, n° 10, julio 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18800/kawsaypacha.202202.004>. Acceso en: septiembre 2023.
- [6] J. Dioses Durán, “Uso de agregados reciclados para la construcción de un pavimento flexible en la ciudad de Chiclayo”, Tesis de grado, Escuela de Ingeniería Civil Ambiental, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12423/5474>.
- [7] N. Villegas Flores, S. Ochoa Averos, Y. Saldeño Madero y E. Sánchez Cotte, “Un análisis multicriterio para la toma de decisión en la selección de una mezcla asfáltica en pavimentos”, *Tecnura*, vol. 27, n° 75, pp. 89-112, marzo 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.14483/22487638.18929>. Acceso en: septiembre 2023.
- [8] FiTe03-ElSira-GIZ, “Aprovechamiento del caucho silvestre por las comunidades nativas en la selva amazónica del Perú”, Ministerio del ambiente, Perú, Ficha técnica, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiA3p2IsreBAXpgP0HHfq3D4EQFnoECA0QAw&url=https%3A%2F%2Fsiar.regionpiura.gob.pe%2Fdocumentos%2Fnormativa%2F1249.pdf&usg=AOvVaw3y1DVu-Jo7rK7S7pxIgN6p&opi=89978449>.

[9] A. Hazoor, F. Mohd, R. Muniandy, S. Hassim y Z. Elahi, “Natural rubber as a renewable and sustainable bio-modifier for pavement applications: A review”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 289, marzo 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125727>. Acceso: septiembre 2023

[10] P. Jitsangiam, K. Nusit, T. Phenrat, S. Kumlai y S. Para-ai, “An examination of natural rubber modified asphalt: Effects of rubber latex contents based on macro- and micro-observation analyses”, *Construction and Building Materials*, vol. 289, junio 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123158>. Acceso: septiembre 2023

[11] N.A. Hassan et al., “Properties of bitumen modified with latex”, *Ciencia e Ingeniería de Materiales*, vol. 527, febrero 2019. [En línea]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/527/1/012063>. Acceso: septiembre 2023.

[12] A. Abdunaser, Y. Nur, N. Madzlan y S. Muslich, “A review of using natural rubber in the modification of bitumen and asphalt mixtures used for road construction”, *Science and Engineering*, vol. 81, n° 6, noviembre 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.11113/jt.v81.13487>. Acceso: septiembre 2023.

[13] S. Nisumanti, G. Amalia y S. Putri, "The Effect of Latex on The Characteristics of Asphalt Concrete Wearing Course", *ICCAUA*, vol. 5, no. 1, pp. 937–945, mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.38027/ICCAUA2022EN0146>. Acceso: septiembre 2023.

[14] E. Mohammad, A. Vega y A. Marianti, “The effect of natural rubber (latex) addition on Hrs-c asphalt mixing with fly ash as filler”, *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 10, pp. 1-6, mayo 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjE54qGu6uBAxUGtaQKHbPsC5sQFnoECA0QAw&url=https%3A%2F%2Fwww.ijstr.org%2Ffinal-print%2Fmay2021%2FThe-Effect-Of-Natural-Rubber-latex-Addition-On-Hrs-wc-Asphalt-Mixing-With-Fly-Ash-As-Filler.pdf&usq=AOvVaw0FckWLn114FQdeOezN\\_YkJ&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjE54qGu6uBAxUGtaQKHbPsC5sQFnoECA0QAw&url=https%3A%2F%2Fwww.ijstr.org%2Ffinal-print%2Fmay2021%2FThe-Effect-Of-Natural-Rubber-latex-Addition-On-Hrs-wc-Asphalt-Mixing-With-Fly-Ash-As-Filler.pdf&usq=AOvVaw0FckWLn114FQdeOezN_YkJ&opi=89978449). Acceso en: septiembre 2023.

[15] A. Tamara y H. Reyes, “Análisis y caracterización fisicoquímica de la especie Hevea Brasiliensis”, *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 9, n° 18, diciembre 2015. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-83672015000200002&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672015000200002&lang=es). Acceso en: septiembre 2023.

[16] J. Brasero, “Desarrollo de nuevas formulaciones de látex de caucho natural libres de n-nitrosaminas, hipoalergénicas y ecológicas, y su caracterización por RMN de campo bajo”,

Tesis de postgrado, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/22179> .

[17] ECOMUSA, “Guía técnica para el aprovechamiento y comercialización de látex de shiringa de bosques naturales”, Perú, 2015. [En línea]. Disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjKjP3imZKGAxWPD7kGHY8WA2cQFnoECDMQAQ&url=http%3A%2F%2Fd2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net%2Fdownloads%2Fmanual\\_shiringa\\_final.pdf&usg=AOvVaw1Tg47YtDpv074DwS44bRP0&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjKjP3imZKGAxWPD7kGHY8WA2cQFnoECDMQAQ&url=http%3A%2F%2Fd2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net%2Fdownloads%2Fmanual_shiringa_final.pdf&usg=AOvVaw1Tg47YtDpv074DwS44bRP0&opi=89978449) .

[18] A. Padilla, “Mezclas asfálticas”, en *Pavimentos flexibles*, España: Universidad Politécnica de Catalunya, 2004, 39 – 64.

[19] Universidad Mayor de San Simón, *Manual completo diseño de pavimentos*, Facultad de Ciencias y Tecnologías, 1ra ed. Bolivia.

[20] Manual de Carreteras, “Especificaciones técnicas generales para construcción”, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú, 2013.

[21] Manual de Carreteras, “Manual de ensayo de materiales”, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú, 2017.

[22] M. S. Mamlouk y J.P. Zaniewski, *Materiales para ingeniería civil*, 2da ed. Madrid: Pearson Educación, 2009.

[23] P. Gamica, H. Delgado, J. Gómez y H. Alarcón, “Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas”, Secretaría de Comunicaciones y Transportes & Instituto Mexicano del Transporte, México, Publicación técnica, 2004.

## Anexos

### Anexo I: Validación de ensayos de laboratorio



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

INFORME N° LEM USAT 047-2024-II

FECHA: 23 de octubre 2024

## VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

**ESTUDIANTE:** Alex Junior Roa Bernal

**TITULO DE LA TESIS:** Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.

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:

- Peso específico y absorción de agregado grueso y fino
- Resistencia al desgaste del agregado grueso
- Sales solubles totales del agregado grueso y fino
- Límites líquido y plástico
- Análisis granulométrico del agregado grueso y fino
- Equivalente de arena
- Sulfato de magnesio para agregado grueso y fino.
- Chatas y alargadas
- Caras fracturadas
- Azul metileno
- Ensayo de gravedad específica (Rice)
- Ensayo de método de Marshall.
- Ensayo de Lottman (TSR).
- Ensayo de Cántabro.
- Ensayo de penetración
- Ensayo de ductilidad
- Análisis físico químico del látex de caucho natural

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



*Henry Rivadeneyra Oblitas*  
 Henry Rivadeneyra Oblitas  
 Tec. Laboratorio  
 USAT

Henry Rivadeneyra Oblitas  
 Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental

Anexo 2: Validación de la evaluación de durabilidad al  $MgSO_4$  del AG



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**Tesista :** Alex Junior Roa Bernal  
**Tesis:** Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
**Ensayo:** Durabilidad al sulfato de sodio y magnesio  
**Norma:** MTC E 209  
**Fecha:** 23/03/2024

**Muestra:** Piedra chancada 1/2"  
**Cantera:** Tres tomas  
**Ubicación:** Ferreñafe

**Datos:**

Tamaño de los tamices		Gradacion Original (peso)	Gradacion de la Muestra Originales (%)	Peso de las Fracciones comprendido antes del ensayo (g)	Peso Ret. despues del ensayo (g)	Pérdida Total (%)	Pérdida Corregida (%)
Pasa	Retiene						
2 1/2" 63 mm	2" 50 mm	0	0	0	0	0	0
2" 50 mm	1 1/2" 37.5 mm	0	0	0	0	0	0
1 1/2" 37.5 mm	3/4" 19 mm	0	0	0	0	0	0
3/4" 19 mm	1/2" 12.5 mm	320	54.02	153.8	134.5	12.5	6.8
1/2" 12.5 mm	3/8" 9.5 mm	158.9	26.82	68.9	57.6	16.4	4.4
3/8" 9.5 mm	N° 4 4.75 mm	113.5	19.16	60.5	42.5	29.8	5.7
<b>Totales</b>		<b>592.4</b>	<b>100</b>	<b>283.2</b>	<b>234.6</b>		<b>16.9</b>

**Resultado:** 16.9% **Desgaste Total**

**Requerimiento según Norma :** 18.00% máx.



Henry Rivedeneyra Obilias  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 3: Validación de la evaluación de durabilidad al  $MgSO_4$  del AF



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**Tesista :** Alex Junior Roa Bernal  
**Tesis:** Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
**Ensayo:** Durabilidad al sulfato de sodio y magnesio  
**Norma:** MTC E 209  
**Fecha:** 23/03/2024

**Muestra:** Arena  
**Cantera:** La victoria  
**Ubicación:** Pátapo

**Datos:**

Tamaño de los tamices		Gradacion Original (peso)	Gradacion de la Muestra Originales (%)	Peso de las Fracciones comprendido antes del ensayo (g)	Peso Ret. despues del ensayo (g)	Pérdida Total (%)	Pérdida Corregida (%)
Pasa	Retiene						
3/8"	N° 4	142.6	15.5	100	95.6	4.4	0.7
9.5 mm	4.75 mm						
N° 4	N° 8	115.6	12.5	100	92.1	7.9	1.0
4.75 mm	2.36 mm						
N° 8	N° 16	120.6	13.1	100	93.2	6.8	0.9
2.36 mm	1.18 mm						
N° 16	N° 30	117.6	12.7	100	93.4	6.6	0.8
1.18 mm	600 µm						
N° 30	N° 50	126.9	13.8	100	89.6	10.4	1.4
600 µm	300 µm						
N° 50	N° 100	168.9	18.3	100	92.3	7.7	1.4
300 µm	150 µm						
N° 100		130.5	14.1	100	90.2	9.8	1.4
<b>Totales</b>		<b>922.7</b>	<b>100.00</b>	<b>700</b>	<b>646.4</b>		<b>7.6</b>

**Resultado:** 7.6 % Desgaste Total

Requerimiento según Norma :

Cumple



Henry Ribadeneyra Obiñas  
 Tec. Laboratorio USAT




Anexo 4: Validación de la evaluación de abrasión Los Ángeles del AG



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**Tesista :** Alex Junior Roa Bernal  
**Tesis:** Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
**Ensayo:** Abrasión Los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5mm (1 ½")  
**Norma:** MTC E 207  
**Fecha:** 23/03/2024

**Muestra:** Piedra chancada 1/2"  
**Cantera:** Tres tomas  
**Ubicación:** Ferreñafe

**Datos:**

**1. Granulometría global**

Mallas		Peso retenido	% Retenido	Gradación B
Pasa	Retiene			
1 1/2"	1"	0.0	0.0	0
1"	3/4"	0.0	0.0	0
3/4"	1/2"	2500.0	50.0	0
1/2"	3/8"	2500.0	50.0	5000.3
<b>Total</b>		<b>5000.0</b>	<b>100.0</b>	<b>5000.3</b>

**2. Ensayo de abrasión**

- Peso inicial antes del ensayo	5000.0
- Peso final después de las 200 revoluciones	4762.0
- Peso final después de las 500 revoluciones	4375.0

**3. Cálculos**

- Porcentaje de desgaste por abrasión	12.50%
- Porcentaje de uniformidad	0.4%

**Resultado:** 12.5% Desgaste por abrasión

Requerimiento según Norma : 40.00% máx.  
 Cumple



Henry Ribadeneyra Obitias  
 Tec. Laboratorio USAT




Anexo 5: Validación de la evaluación de partículas chatas y largas del AG



SIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGGI  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**Tesista :** Alex Junior Roa Bernal  
**Tesis:** Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
**Ensayo:** Determinación de partículas chatas y largas  
**Norma:** ASTM D 4791  
**Fecha:** 08/03/2024

**Muestra:** Piedra chancada 1/2"  
**Cantera:** Tres tomas  
**Ubicación:** Ferreñafe

**Datos:**

**1. Datos**

Material		Agregado grueso			P. chatas		P. alargadas	
Tamiz (pulg)	Abertura (mm)	Ret.	% Ret.	% Pasa	Peso	%	Peso	%
3/4"	19.00			100				
1/2"	12.50	822.0	65.9	34.1	15.8	1.3	3.6	0.3
3/8"	9.50	300.0	24.1	10.0	39	3.1	24	1.9
1/4"	6.30	125.0	10.0	-	22	1.8	15.6	1.3
<b>Total</b>		<b>1247.0</b>				<b>6.2</b>		<b>3.5</b>

**2. Cálculos**

- Peso total de la muestra (g)	<b>1247.0</b>
- Porcentaje de partículas chatas y alargadas	<b>9.6%</b>

**Resultado:** 9.6% de Partículas chatas y alargadas

**Requerimiento según Norma :** 10.00% máx  
**Cumple**



Signature of Henry Rivedeneyra Obiñas  
Henry Rivedeneyra Obiñas  
Tec. Laboratorio USAT  
USAT Universidad Católica Santa Teresita de Niño

## Anexo 6: Validación de la evaluación de caras fracturadas del AG



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

Tesista : Alex Junior Roa Bernal  
 Tesis: Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 Ensayo: Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso  
 Norma: MTC E 210  
 Fecha: 08/03/2024

Muestra: Piedra chancada 1/2"  
 Cantera: Tres tomas  
 Ubicación: Ferreñafe

## Datos:

Datos con una cara fracturada							
Tamiz		Peso Mín. Requerido (g)	Peso Muestra A (g)	Peso Material con Dos Carac Fract. B (g)	% de Caras Fract. C = ((B/A)*100)	% Ret. Gradación Orig.	Promedio de CF E = C * D
Pasa	Retiene						
3"	2 1/2"	30000.0	0.0	0.0	-	-	-
2 1/2"	2"	15000.0	0.0	0.0	-	-	-
2"	1 1/2"	7500.0	0.0	0.0	-	-	-
1 1/2"	1"	3000.0	0.0	0.0	-	-	-
1"	3/4"	1500.0	0.0	0.0	-	-	-
3/4"	1/2"	500.0	576.0	348.0	60.4%	576.0%	348.0%
1/2"	3/8"	300.0	334.0	262.0	78.4%	334.0%	262.0%
Total		57800.0	910.0	610.0		910.0%	610.0%

Datos con dos caras fracturadas							
Tamiz		Peso Mín. Requerido (g)	Peso Muestra A (g)	Peso Material con Dos Carac Fract. B (g)	% de Caras Fract. C = ((B/A)*100)	% Ret. Gradación Orig.	Promedio de CF E = C * D
Pasa	Retiene						
3"	2 1/2"	30000.0	0.0	0.0	-	-	-
2 1/2"	2"	15000.0	0.0	0.0	-	-	-
2"	1 1/2"	7500.0	0.0	0.0	-	-	-
1 1/2"	1"	3000.0	0.0	0.0	-	-	-
1"	3/4"	1500.0	0.0	0.0	-	-	-
3/4"	1/2"	500.0	576.0	395.6	68.7%	576.0%	395.6%
1/2"	3/8"	300.0	334.0	268.0	80.2%	334.0%	268.0%
Total		57800.0	910.0	663.6		910.0%	663.6%

## Cálculos

- Porcentaje con una cara fracturada	67%
- Porcentaje con dos caras fracturadas	73%

Resultado: 67/73 de Caras fracturadas

Requerimiento según Norma : 85/50 máx  
 Cumple



  
 Henry Rivadeneira Obilias  
 Tec. Laboratorio USAT  


Anexo 7: Validación de la evaluación de sales solubles del AG y AF



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

Testista : Alex Junior Roa Bernal  
 Tesis: Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 Ensayo: Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles  
 Norma: MTC E 219  
 Fecha: 23/03/2024

Muestra: Piedra chancada 1/2" / Arena  
 Cantera: Tres tomas / La victoria  
 Ubicación: Ferreñafe / Pátapo

**Datos:**

**1. Datos**

			AG	AF
01	Relación de la mezcla suelo - agua destilada		5.00	5.00
02	Número de beaker		1	2
03	Peso de beaker	g	45.60	30.96
04	Peso de beaker + residuo de sales	g	45.65	31.03
05	Peso de residuo de sales (4)-(3)	g	0.05	0.07
06	Volumen de la solución tomada	ml	100.00	100.00
07	Constituyentes de sales solubles totales $[(5) \times (1000000)] / (6) \times (1)$	ppm	500.00	700.00
08	Constituyentes de sales solubles totales en peso seco $(7) / 10000$	(%)	0.05	0.07
			<b>Promedio (ppm) =</b>	<b>600.00</b>
			<b>Promedio (%) =</b>	<b>0.06</b>

**2. Cálculos**

- Porcentaje de sales solubles totales del AG	<b>0.05%</b>
- Porcentaje de sales solubles totales del AF	<b>0.07%</b>

Cumple

Cumple

Requerimiento según Norma : 0.50% máx



Henry  
 Ruydeneyra  
 Obiñas  
 Tec. Laboratorio  
 USAT

Anexo 8: Validación de la evaluación de equivalente arena del AF



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**Tesista :** Alex Junior Roa Bernal  
**Tesis:** Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
**Ensayo:** Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino  
**Norma:** MTC E 114  
**Fecha:** 13/03/2024

**Muestra:** Arena  
**Cantera:** La Victoria  
**Ubicación:** Pátapo

**Datos:**

**1. Datos**

Muestra N°	1	2	3
Tamaño máximo (mm)	N° 4	N° 4	N° 4
Hora de entrada	5.01	5.05	5.10
Hora de salida	5.51	5.55	5.60
Hora de entrada	5.15	5.20	5.25
Hora de salida	5.35	5.40	5.45
Altura máxima del material fino (cm)	6.50	6.40	5.70
Altura máxima de la arena (cm)	3.90	3.60	3.40
Equivalente arena	60.00%	56.25%	59.65%
<b>Equivalente arena (EA)</b>	<b>59.00%</b>		

Prom.  
58.63

**Requerimiento según Norma :** 60.00% mín.



Henry  
 Rivodeneira  
 Ovillas  
 Tec. Laboratorio  
 USAT

Anexo 9: Validación de la evaluación de azul de metileno del AF



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

Tesista : Alex Junior Roa Bernal

Tesis:

Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Ensayo: Valor de azul de metileno en agregados finos y en llenantes minerales

Norma: ASSTHO TP 57

Fecha: 23/03/2024

Muestra: Arena

Cantera: La victoria

Ubicación: Pátapo

**Datos:**

1. Datos

Muestra	Azul de Metileno	Cantidad de solución	Peso del material fino (N° 200)	Resultado
	Cada	Número		
Pasa N° 200	0.5 mL	8.0	5.0	1.6
		8.0	5.0	1.6

2. Cálculos

- Valor de azul de metileno	2	Excelente
-----------------------------	---	-----------

Requerimiento según Norma :

Tabla 1. Valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla asfáltica

Valor de Azul de Metileno (mg/g)	Desempeño anticipado
≤ 6	Excelente
7-12	Marginalmente aceptable
13-19	Problemas Posible falla
≥ 20	Fallado



Henry  
 Rivadeneyra  
 Obillos  
 Tec. Laboratorio  
 USAT

Anexo 10: Validación de la evaluación de índice de plasticidad del AF



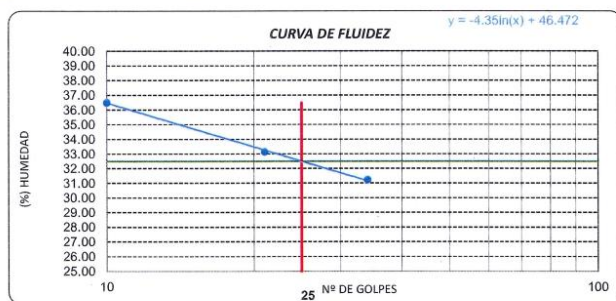
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**Tesista :** Alex Junior Roa Bernal  
**Tesis:** Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
**Ensayo:** Determinación del límite plástico (L.P) de los suelos e índice de plasticidad (I.P)  
**Norma:** MTC E 111  
**Fecha:** 23/03/2024

**Muestra:** Arena  
**Cantera:** La victoria  
**Ubicación:** Pátapo

Datos de ensayo.	Límite líquido				Límite Plástico	
	12	15	16	1	20	
N° de tarro	34	21	10	10		
N° de golpes						
Tarro + suelo húmedo	36.85	32.86	34.58	34.58	21.14	
Tarro + suelo seco	32.39	29.1	30.06	30.06	20.59	
Agua	4.46	3.76	4.52	4.52	0.55	
Peso del tarro	18.1	17.74	17.67	17.67	18.67	
Peso del suelo seco	14.29	11.36	12.39	12.39	1.92	
Porcentaje de humedad	31.21	33.10	36.48	36.48	28.65	

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	32.47
Límite Plástico	28.65
Índice de Plasticidad	3.82



Henry Rivasdeneyra Obllitas  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 11: Validación de la evaluación de absorción del AG



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**Tesista :** Alex Junior Roa Bernal  
**Tesis :** Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
**Ensayo:** Peso específico y absorción de agregados finos  
**Norma:** MTC E 206  
**Fecha:** 23/03/2024

**Muestra:** Piedra chancada 1/2"  
**Cantera:** Tres tomas  
**Ubicación:** Ferreñafe

1. Datos

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	4176	4320	4248
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	4210	4360	4285
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	3380	3460	
4.- Peso de la canastilla	(g)	880	880	
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	2500	2580	2540

2. Resultados

A.- Peso específico de masa	(g/cm <sup>3</sup> )	2.43
B.- Pesp esp. de masa sat. sup. Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	2.46
C.- Peso específico aparente	(g/cm <sup>3</sup> )	2.49
D.- Porcentaje de absorción		0.87%

Cumple

Requerimiento según Norma : 1.00% máx.



Henry  
 Pinedeyra  
 Obitas  
 Tec. Laboratorio  
 USAT  
 Universidad Católica  
 Santo Toribio de Mogrovejo

Anexo 12: Validación de la evaluación de absorción del AF



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

Tesista : Alex Junior Roa Bernal  
 Tesis: Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 Ensayo: Gravedad específica y absorción de agregados finos  
 Norma: MTC E 205  
 Fecha: 23/03/2024

Muestra: Arena  
 Cantera: La victoria  
 Ubicación: Pátapo

1. Datos

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	945.2	946.5	
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	643.2	645.6	
3.- Peso del Agua	(g)	302	300.9	301.45
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	640.6	643.4	
5.- Peso del Frasco	(g)	143.2	145.6	
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	497.4	497.8	497.6
7.- Volumen del frasco	(cm <sup>3</sup> )	500	500	500

2. Resultados

A.- Peso específico de masa	(g/cm <sup>3</sup> )	2.51
B.- Pesp esp. de masa sat. sup. Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	2.52
C.- Peso específico aparente	(g/cm <sup>3</sup> )	2.54
D.- Porcentaje de absorción		0.48%

Cumple

Requerimiento según Norma : 0.50% máx.



Henry  
 Rivas de  
 Ovilas  
 Tec. Laboratorio  
 USAT

## Anexo 13: Validación del ensayo químico del látex de caucho natural

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189



## INFORME DE ANÁLISIS F.Q.A. PERÚ S.A.C.

SOLICITANTE	: ALEX JUNIOR ROA BERNAL
PROYECTO	: Influencia de la adición de látex caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente
MUESTRA	: LATEX DE CAUCHO NATURAL
PROCEDENCIA	: CHICLAYO
FECHA DE INGRESO	: 11 DE ABRIL DEL 2024
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

## ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO:

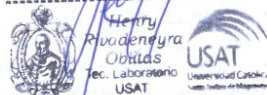
CÓDIGO DE MUESTRA	LATEX DE CAUCHO NATURAL	
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADO
pH	-	6.49
CONDUCTIVIDAD	dS/cm	12.98
DENSIDAD	g/cm <sup>3</sup>	1.067
NITROGENO AMONICAL	%	1.98
SOLIDOS TOTALES	mg/L	8312
VISCOSIDAD	cp	3.46
CENIZAS	%	1.49

CÓDIGO DE MUESTRA	LATEX DE CAUCHO NATURAL	
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADO
FOSFORO	P mg/L	16.80
POTASIO	K mg/L	15.38
CALCIO	Ca mg/L	<0.01
MAGNESIO	Mg mg/L	2.53
ZINC	Zn mg/L	0.68
COBRE	Cu mg/L	0.23
MANGANESO	Mn mg/L	0.35
HIERRO	Fe mg/L	1.79

Determinación de Metales por absorción atómica. Llama - EAA con Horno de Grafito.\*ND: No detectable, fuera del rango

Conclusión : La muestra puesta en laboratorio con el nombre LATEX DE CAUCHO NATURAL cumple las especificaciones por el cliente.

TRUJILLO, 18 DE ABRIL DEL 2024



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

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

TÉCNICO DE LABORATORIO

## Anexo 14: Validación de la evaluación de penetración y ductilidad del asfalto



**MASTERLEM S.A.C.**

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

RUC 20506076235

Dirección: Av. Circunvalación Mz. "B", Lote 1, Int. 1 Huachipa – Lima – Perú

Teléfono: 950 270 955 – 01 5407681

Web: www.masterlem.com.pe

Email: servicios@masterlem.com.pe



**INFORME DE ENSAYO OE24-1062401**

Solicitante : Alex Junior Roa Bernal  
 Nombre del proyecto : Influencia del látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 Muestra : Asfalto patrón PEN 60/70  
 Procedencia : Refinería Conchán (PetroPerú)  
 Fecha de recepción : 2024-05-29  
 Fecha de ensayo : 2024-05-30  
 Fecha de emisión : 2024-05-31

**PRUEBAS AL CEMENTO ASFÁLTICO**

ENSAYOS	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
1. Penetración de los Materiales Asfálticos, 25°C	mm	65	ASTM D 5 / MTC E 304-00
2. Ductilidad de los Materiales Bituminosos, 25°C, 5cm/min	cm	100	ASTM D 113 / MTC E 306-00

NOTA: Los resultados emitidos provienen del promedio de tres medidas.

**Observaciones:**

- Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de MASTERLEM y los resultados presentados se refieren únicamente a los ítems ensayados.
- La información de los datos de proyecto, nombre de cantera y nombre de la cantera corresponde a información proporcionada por el cliente. El laboratorio no ha participado en la etapa de muestreo, la muestra ha sido proporcionada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados de este informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Este informe no puede ser reproducido sin autorización expresa del laboratorio, excepto cuando se reproduce en su totalidad.



Fin del documento

*ADDERLY ORTEGA GADNA*  
 ADDERLY ENRIQUE ORTEGA GADNA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 267341

Henry Ruydeneyra Obiñas  
 Tec. Laboratorio USAT

Página 1 de 1

TECNICO DE LABORATORIO

## Anexo 15: Validación de la evaluación de penetración y ductilidad del asfalto + 2.5% LCN



**MASTERLEM S.A.C.**

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

RUC 20506076235

Dirección: Av. Circunvalación Mz. "B", Lote 1, Int. 1 Huachipa – Lima – Perú

Teléfono: 950 270 955 – 01 5407661

Web: www.masterlem.com.pe

Email: servicios@masterlem.com.pe



**INFORME DE ENSAYO DE24-1062402**

Solicitante : Alex Junior Roa Bernal  
 Nombre del proyecto : Influencia del látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 Muestra : Asfalto PEN 60/70 + 2.5% de látex  
 Procedencia : Asfalto: Refinería Conchán (PetroPerú)  
 Látex: Tarapoto (Cooperativa Ecomusa) - Madre de Dios  
 Fecha de recepción : 2024-05-29  
 Fecha de ensayo : 2024-05-30  
 Fecha de emisión : 2024-05-31

**PRUEBAS AL CEMENTO ASFÁLTICO**

ENSAYOS	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
1. Penetración de los Materiales Asfálticos, 25°C	mm	60	ASTM D 5 / MTC E 304-00
2. Ductilidad de los Materiales Bituminosos, 25°C, 5cm/min	cm	100	ASTM D 113 / MTC E 306-00

NOTA: Los resultados emitidos provienen del promedio de tres medidas.

**Observaciones:**

- 1) Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de MASTERLEM y los resultados presentados se refieren únicamente a los ítems ensayados.
- 2) La información de los datos de proyecto, nombre de cantera y nombre de la cantera corresponde a información proporcionada por el cliente. El laboratorio no ha participado en la etapa de muestreo, la muestra ha sido proporcionada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- 3) Los resultados de este informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- 4) Este informe no puede ser reproducido sin autorización expresa del laboratorio, excepto cuando se reproduce en su totalidad.



Fin del documento

TÉCNICO DE LABORATORIO

*ADDERLY ORTEGA*  
 ADDERLY ENRIQUE ORTEGA GADMA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 287341

Henry Rivas  
 Rivas  
 Obulias  
 Tec. Laboratorio  
 USAT

Página 1 de 1

## Anexo 16: Validación de la evaluación de penetración y ductilidad del asfalto + 4.5% LCN



**MASTERLEM S.A.C.**

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

RUC 20506076235

Dirección: Av. Circunvalación Mz. "B", Lote 1, Int. 1 Huachipa – Lima – Perú

Teléfono: 950 270 955 – 01 5407661

Web: www.masterlem.com.pe

Email: servicios@masterlem.com.pe



INFORME DE ENSAYO OE24-1062403

Solicitante : Alex Junior Roa Bernal  
 Nombre del proyecto : Influencia del látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 Muestra : Asfalto PEN 60/70 + 4.5% de látex  
 Procedencia : Asfalto: Refinería Conchán (PetroPerú)  
 Látex: Tarapoto (Cooperativa Ecomusa) - Madre de Dios  
 Fecha de recepción : 2024-05-29  
 Fecha de ensayo : 2024-05-30  
 Fecha de emisión : 2024-05-31

PRUEBAS AL CEMENTO ASFÁLTICO

ENSAYOS	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
1. Penetración de los Materiales Asfálticos, 25°C	mm	53	ASTM D 5 / MTC E 304-00
2. Ductilidad de los Materiales Bituminosos, 25°C, 5cm/min	cm	100	ASTM D 113 / MTC E 306-00

NOTA: Los resultados emitidos provienen del promedio de tres medidas.

Observaciones:

- 1) Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de MASTERLEM y los resultados presentados se refieren únicamente a los ítems ensayados.
- 2) La información de los datos de proyecto, nombre de cantera y nombre de la cantera corresponde a información proporcionada por el cliente. El laboratorio no ha participado en la etapa de muestreo, la muestra ha sido proporcionada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- 3) Los resultados de este informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- 4) Este informe no puede ser reproducido sin autorización expresa del laboratorio, excepto cuando se reproduce en su totalidad.



Fin del documento

TÉCNICO DE LABORATORIO

*ADDERLY ORTEGA*  
 ADDERLY ENRIQUE ORTEGA GADNA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 267341

Henry  
 Rivadeneyra  
 Obillas  
 Tec. Laboratorio  
 USAT

USAT  
 Universidad Católica  
 Lima - Instituto de Ingeniería

Página 1 de 1

## Anexo 17: Validación de la evaluación de penetración y ductilidad del asfalto + 6.5% LCN



**MASTERLEM S.A.C.**

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

RUC 20506076235

Dirección: Av. Circunvalación Mz. "B", Lote 1, Int. 1 Huachipa - Lima - Perú

Teléfono: 950 270 955 - 01 5407661

Web: www.masterlem.com.pe

Email: servicios@masterlem.com.pe



INFORME DE ENSAYO OE24-1062404

Solicitante : Alex Junior Roa Bernal  
 Nombre del proyecto : Influencia del látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 Muestra : Asfalto PEN 60/70 + 6.5% de látex  
 Procedencia : Asfalto: Refinería Conchán (PetroPerú)  
 Látex: Tarapoto (Cooperativa Ecomusa) - Madre de Dios  
 Fecha de recepción : 2024-05-29  
 Fecha de ensayo : 2024-05-30  
 Fecha de emisión : 2024-05-31

PRUEBAS AL CEMENTO ASFÁLTICO

ENSAYOS	UNIDADES	RESULTADO	MÉTODO DE REFERENCIA
1. Penetración de los Materiales Asfálticos, 25°C	mm	45	ASTM D 5 / MTC E 304-00
2. Ductilidad de los Materiales Bituminosos, 25°C, 5cm/min	cm	100	ASTM D 113 / MTC E 306-00

NOTA: Los resultados emitidos provienen del promedio de tres medidas.

Observaciones:

- 1) Los ensayos han sido realizados en las instalaciones del Laboratorio de MASTERLEM y los resultados presentados se refieren únicamente a los ítems ensayados.
- 2) La información de los datos de proyecto, nombre de cantera y nombre de la cantera corresponde a información proporcionada por el cliente. El laboratorio no ha participado en la etapa de muestreo, la muestra ha sido proporcionada por el cliente y los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- 3) Los resultados de este informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- 4) Este informe no puede ser reproducido sin autorización expresa del laboratorio, excepto cuando se reproduce en su totalidad.



Fin del documento

*ADDERLY ORTEGA GADNA*  
 ADDERLY ENRIQUE ORTEGA GADNA  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 267341

Página 1 de 1

*Henry Rivadeneira Obitas*  
 Henry Rivadeneira Obitas  
 Tec. Laboratorio  
 USAT

TÉCNICO DE LABORATORIO

## Anexo 18: Validación de registro de carga y flexímetro para ligante óptimo - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Tesista : Alex Junior Roa Bernal

Ensayo : Método Marshall - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

## REGISTRO DE CARGA Y FLEXIMETRO PARA ASFALTO ÓPTIMO - LIGERO

Descripción	#B	Carga	Flexímetro	Peso	Diametro
		(kg)	(pulg)	(gr)	(cm)
Tráfico ligero - C.A 4.0%	B1	2034.00	28.00	1163.70	10.10
	B2	1770.00	31.00	1207.50	10.10
	B3	1828.00	26.00	1115.80	10.10
	B4	1985.00	32.00	1110.50	10.10
	B5	2150.00	34.00	1116.90	10.10
Tráfico ligero - C.A 4.5%	B6	1582.00	30.00	1069.69	10.10
	B7	1157.00	29.00	969.93	10.10
	B8	1742.00	32.00	1078.40	10.10
	B9	1895.00	30.00	1089.50	10.10
	B10	2030.00	32.00	1089.50	10.10
Tráfico ligero - C.A 5.0%	B11	996.00	27.00	1185.30	10.10
	B12	2082.00	31.00	1210.80	10.10
	B13	1155.00	25.00	1161.20	10.10
	B14	1762.00	33.00	1156.20	10.10
	B15	1914.00	34.00	1162.60	10.10
Tráfico ligero - C.A 5.5%	B16	702.00	30.00	987.95	10.10
	B17	1992.00	30.00	1130.29	10.10
	B18	2021.00	32.00	1259.00	10.10
	B19	2181.00	32.00	1245.00	10.10
	B20	2108.00	31.00	1236.00	10.10
Tráfico ligero - C.A 6.0%	B21	1877.00	33.00	1205.42	10.10
	B22	1786.00	31.00	1188.79	10.10
	B23	1800.00	32.00	1143.40	10.10
	B24	1901.00	30.00	1139.50	10.10
	B25	1922.00	36.00	1140.60	10.10



*Henry Rivedeneyra Obillas*  
 Henry Rivedeneyra Obillas  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 19: Validación de la gradación del material pétreo



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS  
 MTC E 204 - ASTM C 136 - AASHTO T27

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátao - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

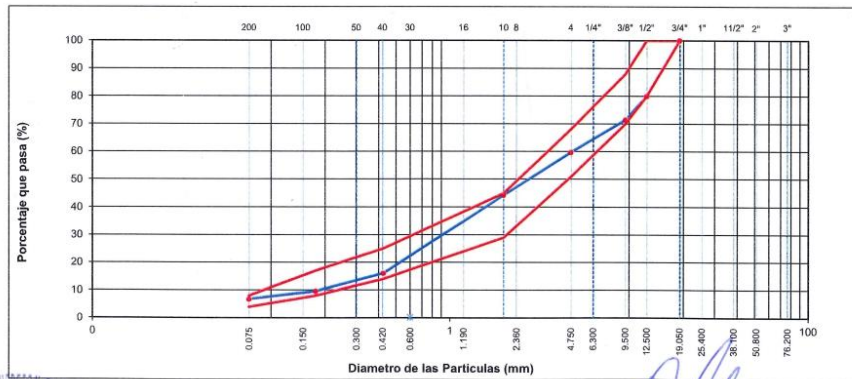
DATOS DE DISEÑO

Grava Chancada 1/2"	59%
Arena	40%
Cemento (Filer)	1%
Látex de caucho natural	0%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	

TAMAÑO MÁXIMO :	1/2"
Peso inicial seco :	2480 g

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO		RETENIDO		ESPECIFICACION		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	% QUE PASA	MAC - 2		
3"	76.200							Observación:
3/4"	19.000	0			100.0	80	100	
1/2"	12.500	498	20.1	20.1	79.9	67	85	
3/8"	9.500	212	8.5	28.6	71.4	60	77	
Nº 4	4.750	290	11.7	40.3	59.7	43	54	
Nº 10	2.000	325.0	15.5	55.8	44.2	29	45	
Nº 40	0.425	590.0	28.2	84.0	16.0	14	25	
Nº 80	0.177	135.0	6.4	90.5	9.5	8	17	
Nº 200	0.075	60.0	2.9	93.3	6.7	4	8	
< Nº 200	FONDO	140.0	6.7	100.0				

CURVA GRANULOMETRICA



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 USAT  
  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Obúas  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 20: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 4% - T. Ligeró



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

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

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 1/2"	59%
Arena	40%
Cemento (Filler)	1%
Látex de caucho natural	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425	
Peso de C.A	60	4.00%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.71
B Arena	58.68	52.01
C Filler	1	9.28

Mezcla  
 Especificaciones IVB

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

I	Número de briqueña	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.71	38.71	38.71	38.71	38.71	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.01	52.01	52.01	52.01	52.01	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	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.	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Alura promedio de la briqueña	cm.	6.71	7.09	6.69	6.62	6.61	
13	Peso de la briqueña en el aire	gr.	1163.7	1207.52	1115.8	1110.5	1116.9	
14	Peso de la briqueña saturada superficialmente seca	gr.	1173.26	1216.69	1121.9	1123.6	1124.9	
15	Peso de la briqueña en el agua 25 °C	gr.	650.1	647.49	605.8	612.6	609.6	
16	Volumen de la briqueña 14-15	c.c.	523.2	569.2	516.07	511	515.3	
17	Peso unitario de la briqueña 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.224	2.121	2.162	2.173	2.167	2.170
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/(2/6)+(3/2*(7+8)+(4*2*(9+10))	gr/cc.	2.547	2.547	2.547	2.547	2.547	
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	14.17	18.14	16.57	16.14	16.36	16.28
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.688	2.688	2.688	2.688	2.688	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.733	2.733	2.733	2.733	2.733	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc.	2.741	2.741	2.741	2.741	2.741	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6/(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueña (3+4)*17/21	%	78.64	75.01	76.45	76.84	76.64	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueña 100-(25+20)	%	7.18	6.85	6.98	7.02	7.00	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	21.36	24.99	23.55	23.16	23.36	23.28
28	Asfalto efectivo (peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	3.34	3.34	3.34	3.34	3.34	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	33.64	27.42	29.65	30.31	29.97	30.20
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2034	1770	1828	1985	2150	
31	Factor de estabilidad		0.96	0.86	0.81	0.00	0.00	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2034	1770	1828	1985	2150	1953
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	28	31	26	30	34	30
34	Fluencia	m.m.	7.11	7.87	6.60	7.62	8.64	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2860	2248	2768	2605	2490	2594



Henry Rivadeneira Obútas  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 21: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 4.5% - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

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

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 1/2"	59%
Arena	40%
Cemento (Filer)	1%
Látex de caucho natural	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de C.A	67.5 <b>4.5%</b>
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.51
B Arena	58.68	50.69
C Filer	1	10.80

Mezcla	IVB
--------	-----

% Que Pasa el Tamiz						
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	6.7
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17
						4 - 8

1	Número de briqueña	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.51	38.51	38.51	38.51	38.51	38.51
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	50.69	50.69	50.69	50.69	50.69	50.69
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35	5.35
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	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.	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueña	cm.	6.253	5.863	6.346	6.253	6.312	
13	Peso de la briqueña en el aire	gr.	1069.69	969.93	1078.4	1089.5	1089.5	
14	Peso de la briqueña saturada superficialmente seca	gr.	1078.17	982.2	1087.6	1098.6	1099.5	
15	Peso de la briqueña en el agua 25 °C	gr.	567.8	521.11	587.3	587.6	591.5	
16	Volumen de la briqueña 14-15	c.c.	510.33	461.09	500.3	511.0	508.0	
17	Peso unitario de la briqueña 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.096	2.104	2.156	2.132	2.145	2.126
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	gr/cc.	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 503)	%	19.52	19.24	17.24	18.14	17.66	18.36
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-21)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.719	2.719	2.719	2.719	2.719	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.765	2.765	2.765	2.765	2.765	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc.	2.781	2.781	2.781	2.781	2.781	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueña (3+4)*1/721	%	72.88	73.14	74.95	74.13	74.57	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueña 100-(25+20)	%	7.60	7.63	7.82	7.73	7.78	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	27.12	26.86	25.05	25.87	25.43	26.07
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	28.02	28.39	31.20	29.88	30.58	29.62
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1582	972	1675	1895	1952	
31	Factor de estabilidad		1.00	1.19	1.04	1.00	1.04	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1582	1157	1742	1895	2030	1681
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	mil.	30	29	32	30	32	31
34	Fluencia	m.m.	7.62	7.37	8.13	7.62	8.13	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2076	1570	2143	2487	2498	2155



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Obitas  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 22: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 5% - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

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

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 1/2"	59%
Arena	40%
Cemento (Filer)	1%
Látex de caucho natural	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1410	
Peso de C.A	75	5.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.06
B Arena	58.68	47.37
C Filler	1	14.57

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

J	Número de briqueza	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.06	38.06	38.06	38.06	38.06	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	47.37	47.37	47.37	47.37	47.37	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	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.	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueza	cm.	6.735	6.983	6.653	6.56	6.62	
13	Peso de la briqueza en el aire	gr.	1185.28	1210.78	1161.2	1156.2	1162.6	
14	Peso de la briqueza saturada superficialmente seca	gr.	1194.3	1225	1170.7	1169.8	1171.5	
15	Peso de la briqueza en el agua 25 °C	gr.	642.9	670.15	627.5	621.5	619.8	
16	Volumen de la briqueza 14-15	c.c.	551.45	554.85	543.3	548.3	551.7	
17	Peso unitario de la briqueza 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.149	2.182	2.137	2.109	2.107	2.137
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.640	2.640	2.640	2.640	2.640	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100((2/6)+(3*2/(7+8))+(4*2/(9+10)))	gr/cc.	2.578	2.578	2.578	2.578	2.578	
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	18.57	17.33	19.03	20.11	20.17	19.04
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.806	2.806	2.806	2.806	2.806	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.853	2.853	2.853	2.853	2.853	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc.	2.884	2.884	2.884	2.884	2.884	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueza (3+4)*17/21	%	71.60	72.69	71.20	70.24	70.20	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueza 100-(25+20)	%	9.83	9.98	9.78	9.64	9.64	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	28.40	27.31	28.80	29.76	29.80	28.82
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	4.76	4.76	4.76	4.76	4.76	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	34.61	36.54	33.94	32.41	32.34	33.97
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1119	2339	1242	1980	2150	
31	Factor de estabilidad	kg	0.89	0.89	0.93	0.89	0.89	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	996	2082	1155	1762	1914	1582
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	mil.	27	31	25	33	34	30
34	Fluencia	m.m.	6.86	7.87	6.35	8.38	8.64	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	1452	2644	1819	2102	2216	2047



Henry Rivadeneira Obittas  
 USAT  
 Tec. Laboratorio USAT  
 Universidad Católica del Perú

Anexo 23: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 5.5% - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú  
**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO**  
 METODO MARSHALL - ASTM D 1559 - AASTHO T 245

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 1/2"	59%
Arena	40%
Cemento (Filer)	1%
Látex de caucho natural	0%
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	40.32	38.06
B Arena	58.68	46.90
C Filler	1	15.04

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

#	1	2	3	4	5	Prom.
1 Número de briqueta	%	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
2 C.A. en peso de la mezcla	%	38.06	38.06	38.06	38.06	38.06
3 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	46.90	46.90	46.90	46.90	46.90
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565
8 Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583
9 Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596
10 Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
11 Peso específico aparente del filler	cm.	5.97	6.476	7.114	6.89	6.75
12 Altura promedio de la briqueta	gr.	987.95	1130.29	1259.0	1245.0	1236.0
13 Peso de la briqueta en el aire	gr.	997.59	1141.11	1273.3	1254.0	1242.6
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	505.8	618.03	690.2	690.2	690.2
15 Peso de la briqueta en el agua 25 °C	c.c.	491.82	523.08	583.1	563.8	552.4
16 Volumen de la briqueta 14-15 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.009	2.161	2.159	2.208	2.238
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.662	2.662	2.662	2.662	2.662
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.591	2.591	2.591	2.591	2.591
19 Máxima densidad teórica de los agregados 100/(2/6)+(3*2/(7+8))+(4*2/(9+10))	%	24.54	18.83	18.89	17.05	15.95
20 % de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	gr/cc.	2.821	2.821	2.821	2.821	2.821
21 Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.869	2.869	2.869	2.869	2.869
22 Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.912	2.912	2.912	2.912	2.912
23 Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4/P-10))	%	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
24 Asfalto absorbido por el agregado total 100-6/(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	66.55	71.59	71.53	73.16	74.13
25 % del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	%	8.91	9.58	9.58	9.79	9.92
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	%	33.45	28.41	28.47	26.84	25.87
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	26.63	33.73	33.64	36.49	38.36
29 Relación benin vacíos (26/27)*100	kg	644	2075	2435	2536	2369
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1.09	0.96	0.83	0.86	0.89
31 Factor de estabilidad	kg	702	1992	2021	2181	2108
32 Estabilidad corregida 31*32	pul.	30	30	32	32	31
33 Lectura del flexmetro (0.01") (35 / 0.254)	m.m.	7.62	7.62	8.13	8.13	7.87
34 Fluencia	m.m.	921	2614	2487	2683	2678
35 Relación Estabilidad / Fluencia						



Henry Rivas Obitias  
 Tec. Laboratorio  
 USAT

Anexo 24: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 6% - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

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

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 1/2"	59%
Arena	40%
Cemento (Filer)	1%
Látex de caucho natural	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395	
Peso de C.A	90	6.0%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.06
B Arena	58.68	46.42
C Filler	1	15.51

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

#	1	2	3	4	5	Prom.
1	Número de briquea					
2	C.A. en peso de la mezcla					
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)					
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)					
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)					
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico					
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127 , AASTHO T 85 , MTC E 206)					
8	Peso específico Aparente de la grava (> #4) (ASTM C 127 , AASTHO T 85 , MTC E 206)					
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128 , AASTHO T 84 , MTC E 205)					
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128 , AASTHO T 84 , MTC E 205)					
11	Peso específico aparente del filler					
12	Altura promedio de la briquea					
13	Peso de la briquea en el aire					
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca					
15	Peso de la briquea en el agua 25 °C					
16	Volumen de la briquea 14-15					
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726 , MTC E 514)					
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)					
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$					
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203 , MTC E 505)					
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$					
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$					
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$					
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469 , MTC E 511)					
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea $(3 + 4) * 17/21$					
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea $100 - (25 + 20)$					
27	% vacíos del agregado mineral 100-25					
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$					
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$					
30	Lectura del aro.					
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)					
31	Factor de estabilidad					
32	Estabilidad corregida $31 * 32$					
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)					
34	Fluencia					
35	Relación Estabilidad / Fluencia					



Henry Rivasdeneyra Obiñas  
 Tec. Laboratorio USAT  
 Universidad Católica del Perú

Anexo 25: Validación de la evaluación de rice - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

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

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2718	2718	2718	2718	2718
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	2226	2278	2299	2274	2303
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3501.0	3424.0	3405.0	3456.0	3415.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1275	1146	1106	1182	1112
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	492	440	419	444	415
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.591	2.605	2.640	2.662	2.680

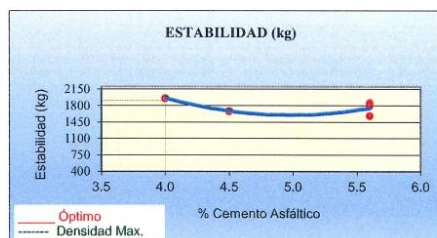
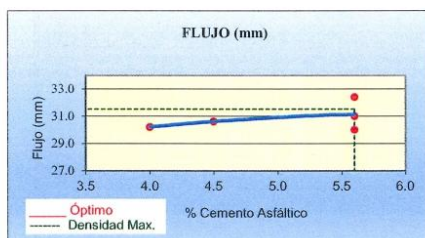
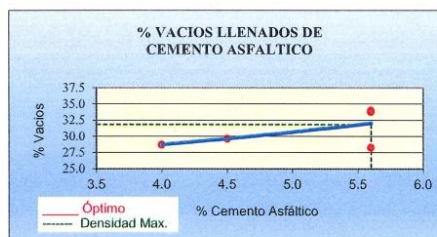
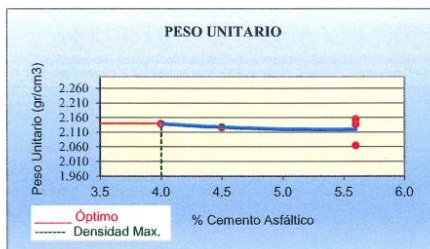


Anexo 26: Validación del contenido óptimo de asfalto – T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**Tesis** : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
**Tesista** : Alex Junior Roa Bernal  
**Ensayo** : Método Marshall - ASTM - D 1559 AASTHO T -245  
**Fecha** : 14/06/2024



RESULTADOS TRÁFICO LIGERO	
Óptimo Contenido C.A	4.5
Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	1.960
Vacios (%)	20.50
Vacios del Agregado mineral (%)	29.80
Vacios Llenados de C.A (%)	31.80
Flujo (mm)	8.00
Estabilidad (Kg)	1900
Relación Polvo Asfalto	0.68



Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

*Henry Ruideneyra Obilias*  
 Henry Ruideneyra Obilias  
 Tec. Laboratorio USAT

## Anexo 27: Validación de registro de carga y flexímetro para ligante óptimo - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**Tesis** : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

**Tesista** : Alex Junior Roa Bernal

**Ensayo** : Método Marshall - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

## REGISTRO DE CARGA Y FLEXIMETRO PARA ASFALTO ÓPTIMO - PESADO

Descripción	#B	Carga	Flexímetro	Peso	Diametro
		(kg)	(pulg)	(gr)	(cm)
Tráfico pesado - C.A 4.0%	B1	3921.00	30.00	1124.20	10.10
	B2	1272.00	34.00	985.09	10.10
	B3	1436.00	29.00	1124.80	10.10
	B4	1426.00	36.00	1121.60	10.10
	B5	1415.00	32.00	1126.90	10.10
Tráfico pesado - C.A 4.5%	B6	1880.00	29.00	1082.08	10.10
	B7	1930.00	30.00	1054.22	10.10
	B8	2081.00	29.00	1043.70	10.10
	B9	2644.00	26.00	1032.40	10.10
	B10	2423.00	34.00	1026.60	10.10
Tráfico pesado - C.A 5.0%	B11	3476.00	28.00	1160.76	10.10
	B12	2840.00	23.00	1158.65	10.10
	B13	3719.00	26.00	1092.40	10.10
	B14	3883.00	30.00	1086.90	10.10
	B15	3619.00	32.00	1084.60	10.10
Tráfico pesado - C.A 5.5%	B16	2575.00	30.00	1166.24	10.10
	B17	3152.00	29.00	1071.45	10.10
	B18	3286.00	30.00	1141.40	10.10
	B19	3375.00	34.00	1132.60	10.10
	B20	3499.00	35.00	1138.60	10.10
Tráfico pesado - C.A 6.0%	B21	2712.00	25.00	1097.76	10.10
	B22	2599.00	30.00	1065.97	10.10
	B23	2403.00	26.00	1123.10	10.10
	B24	2499.00	32.00	1112.60	10.10
	B25	2499.00	35.00	1113.20	10.10



Henry  
 Rivadeneyra  
 Oblitas  
 Tec. Laboratorio  
 USAT

Anexo 28: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 4% - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

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

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 1/2"	59%
Arena Chancada	40%
Cemento (Filer)	1%
Látex de caucho natural	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425
Peso de C. A	60 <b>4.00%</b>
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.71
B Arena	58.68	47.50
C Filler	1	13.79

Mezcla	
Especificaciones IVB	

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briketa	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.71	38.71	38.71	38.71	38.71	38.71
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	47.50	47.50	47.50	47.50	47.50	47.50
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83	8.83
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	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	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briketa	cm	6.68	5.97	6.70	6.50	6.45	
13	Peso de la briketa en el aire	gr	1124.2	985.09	1124.8	1121.6	1126.9	
14	Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr	1124.52	993.72	1142.3	1138.9	1136.9	
15	Peso de la briketa en el agua	gr	675.5	528.16	608.77	608.77	607.2	
16	Volumen de la briketa	c.c	449.0	465.56	533.52	530.13	529.7	
17	Peso unitario de la briketa	gr/cc	2.504	2.116	2.108	2.116	2.127	2.194
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.728	2.728	2.728	2.728	2.728	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	gr/cc	2.665	2.665	2.665	2.665	2.665	
20	% de vacios con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	8.23	22.45	22.73	22.46	22.03	19.58
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc	2.827	2.827	2.827	2.827	2.827	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	2.875	2.875	2.875	2.875	2.875	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	gr/cc	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briketa (3+4)*17/21	%	84.17	71.13	70.87	71.12	71.52	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa 100-(25+20)	%	7.60	6.42	6.40	6.42	6.46	
27	% vacios del agregado mineral 100-25	%	15.83	28.87	29.13	28.88	28.48	26.24
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	
29	Relación betin vacios (26/27)*100	%	48.00	22.24	21.97	22.23	22.67	27.42
30	Estabilidad sin correge (tabla de calibración del anillo)	kg	3921	1272	1436	1426	1415	
31	Factor de estabilidad		1.25	1.19	0.96	0.96	0.96	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	3921	1272	1436	1426	1415	1894
33	Lectura del fleximetro (0.01") (35 / 0.254)	mil	30	34	29	36	32	32
34	Fluencia	m.m.	7.62	8.64	7.37	9.14	8.13	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	5146	1473	1949	1559	1741	2374



Henry Rivadeneyra Obilias  
 Tec. Laboratorio USAT



Anexo 29: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 4.5% - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú  
**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO**  
 METODO MARSHALL - ASTM D 1559 - AASTHO T 245

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 1/2"	59%
Arena Chancada	40%
Cemento (Filer)	1%
Látex de caucho natural	0%
<b>CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70</b>	

Peso de Muestra	1417.5
Peso de C.A	67.5 <b>4.5%</b>
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.51
B Arena	58.68	49.83
C Filler	1	11.66

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°60	N°200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

<b>Mezcla</b>
<b>Especificaciones IVB</b>

1	Número de briquea	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.51	38.51	38.51	38.51	38.51	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	49.83	49.83	49.83	49.83	49.83	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	6.21	6.21	6.21	6.21	6.21	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	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.	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.538
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briquea	cm.	6.382	5.991	6.35	6.33	6.15	
13	Peso de la briquea en el aire	gr.	1082.08	1054.22	1043.7	1032.4	1026.6	
14	Peso de la briquea saturada superficialmente seca	gr.	1096.6	1070.62	1057.0	1036.2	1032.4	
15	Peso de la briquea en el agua 25 °C	gr.	587.7	568.11	561.7	582.6	568.3	
16	Volumen de la briquea 14-15	c.c.	508.89	502.51	495.4	453.6	464.1	
17	Peso unitario de la briquea 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.126	2.098	2.107	2.276	2.212	2.164
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100-(2/6)+(3/2*(7+8)+(4/2*(9+10))	gr/cc.	2.575	2.575	2.575	2.575	2.575	
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3303, MTC E 505)	%	19.19	20.27	19.93	13.50	15.94	17.77
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.745	2.745	2.745	2.745	2.745	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.792	2.792	2.792	2.792	2.792	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4/P-10))	gr/cc.	2.813	2.813	2.813	2.813	2.813	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briquea (3+4)*17/21	%	73.22	72.24	72.55	78.38	76.17	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briquea 100-(25+20)	%	7.58	7.48	7.52	8.12	7.89	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	26.78	27.76	27.45	21.62	23.83	25.49
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	28.33	26.96	27.38	37.55	33.12	30.67
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1880	1856	1909	2115	2036	
31	Factor de estabilidad		1.00	1.04	1.09	1.25	1.19	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	1880	1930	2081	2644	2423	2192
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pnl.	29	30	29	26	34	30
34	Fluencia	m.m.	7.37	7.62	7.37	6.60	8.64	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2552	2533	2825	4003	2806	2944



Henry Rivadeneyra Obitos  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 30: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 5% - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

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

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 1/2"	59%
Arena Chancada	40%
Cemento (Filler)	1%
Látex de caucho natural	0%
<b>CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70</b>	

Peso de Muestra	1414.5
Peso de C.A	70.5 <b>4.7%</b>
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.06
B Arena	58.68	44.16
C Filler	1	17.78

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N#4	N#10	N#40	N#80	N#200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briqueeta	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.06	38.06	38.06	38.06	38.06	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	44.16	44.16	44.16	44.16	44.16	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	11.23	11.23	11.23	11.23	11.23	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	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.	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueeta	cm.	6.318	6.423	6.177	6.23	6.2	
13	Peso de la briqueeta en el aire	gr.	1160.76	1158.65	1092.4	1086.9	1084.6	
14	Peso de la briqueeta saturada superficialmente seca	gr.	1169.3	1172.6	1102.2	1105.6	1109.6	
15	Peso de la briqueeta en el agua 25 °C	gr.	664.7	662.6	609.1	610.2	611.2	
16	Volumen de la briqueeta 14-15	c.c.	504.6	510	493.1	495.4	498.4	
17	Peso unitario de la briqueeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.300	2.272	2.215	2.194	2.176	2.262
18	Peso específico teórico máximo (Rico) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.728	2.728	2.728	2.728	2.728	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	gr/cc.	2.663	2.663	2.663	2.663	2.663	
20	% de vacíos con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	15.69	16.73	18.81	19.58	20.24	17.07
21	Peso específico Bulk del Agregado Total 100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	
22	Peso específico Aparente del agregado total 100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.964	2.964	2.964	2.964	2.964	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P- 8)+(4*P-10))	gr/cc.	2.997	2.997	2.997	2.997	2.997	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueeta (3+4)*17/21	%	73.78	72.86	71.05	70.36	69.79	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueeta 100-(25+20)	%	10.54	10.41	10.15	10.05	9.97	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	26.22	27.14	28.95	29.64	30.21	27.44
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	40.19	38.35	35.05	33.92	33.01	37.86
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3342	2840	3412	3562	3480	
31	Factor de estabilidad		1.04	1.00	1.09	1.09	1.04	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	3476	2840	3719	3883	3619	3345
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	mil.	28	23	26	30	32	28
34	Fluencia	m.m.	7.11	5.84	6.60	7.62	8.13	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4887	4861	5632	5095	4453	5127



Henry Rivas Neyra Obítas  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 31: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 5.5% - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú  
**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO**  
 METODO MARSHALL - ASTM D 1559 - AASTHO T 245

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátao - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 1/2"	59%
Arena Chancada	40%
Cemento (Filer)	1%
Látex de caucho natural	3%
<b>CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70</b>	

Peso de Muestra	1402.5	
Peso de C.A	82.5	5.5%
Peso del Cemento	15	
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.52	38.06
B Arena	58.68	47.27
C Filler	1	14.66

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

1	Número de briqueta	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.06	38.06	38.06	38.06	38.06	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	47.27	47.27	47.27	47.27	47.27	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	8.12	8.12	8.12	8.12	8.12	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	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.	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.398	5.951	6.407	6.325	6.305	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1166.24	1071.45	1141.4	1132.6	1138.6	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1179.77	1080.81	1151.8	1146.9	1147.5	
15	Peso de la briqueta en el agua	gr.	649.4	587.22	651.7	655.6	653.4	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	530.35	493.59	500.1	491.3	494.1	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.199	2.171	2.282	2.305	2.304	2.252
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.645	2.645	2.645	2.645	2.645	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100/(2/6)+(3^2/(7+8)+(4^2/(9+10))$	gr/cc.	2.581	2.581	2.581	2.581	2.581	
20	% de vacíos con aire $100*(1-17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 305)	%	16.85	17.92	13.70	12.83	12.86	14.83
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.809	2.809	2.809	2.809	2.809	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.856	2.856	2.856	2.856	2.856	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))$	gr/cc.	2.890	2.890	2.890	2.890	2.890	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21)/(23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4)*17/21$	%	73.17	72.23	75.94	76.71	76.68	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100-(25+20)$	%	9.98	9.85	10.36	10.47	10.46	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	26.83	27.77	24.06	23.29	23.32	25.06
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100)*(3+4)$	%	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	
29	Relación betún vacíos $(26/27)*100$	%	37.21	35.48	43.06	44.93	44.85	101.95
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2682	2892	3160	3096	3210	
31	Factor de estabilidad		0.96	1.09	1.04	1.09	1.09	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2575	3152	3286	3375	3499	3177
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	30	29	30	34	35	32
34	Fluencia	m.m.	7.62	7.37	7.62	8.64	8.89	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3379	4280	4313	3908	3936	3963



Henry Rivasneira Obilias  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 32: Validación de la evaluación de Marshall para ligante óptimo del 6% - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú  
**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO**  
 METODO MARSHALL - ASTM D 1559 - AASTHO T 245

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 1/2"	59%
Arena Chancada	40%
Cemento (Filler)	1%
Látex de caucho natural	3%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1395
Peso de C.A	90 <b>6.0%</b>
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.06
B Arena	58.68	44.06
C Filler	1	17.87

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

T	Número de briqueta	#	1	2	3	4	5	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.06	38.06	38.06	38.06	38.06	38.06
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	44.06	44.06	44.06	44.06	44.06	44.06
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	11.33	11.33	11.33	11.33	11.33	11.33
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 83, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504	2.504
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 83, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583	2.583
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	5.976	5.92	6.177	6.202	6.235	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1097.76	1065.97	1123.1	1112.6	1113.2	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1109.13	1076.89	1138.2	1124.6	1126.5	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	607.7	598.2	619.7	624.6	625.9	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	501.43	478.69	518.5	500.0	500.6	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.189	2.227	2.166	2.225	2.224	2.206
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.659	2.659	2.659	2.659	2.659	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	gr/cc.	2.666	2.666	2.666	2.666	2.666	
20	% de vacíos con aire 100*((1-17/18)) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	17.66	16.24	18.52	16.30	16.36	17.02
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.917	2.917	2.917	2.917	2.917	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.967	2.967	2.967	2.967	2.967	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/8-8)+(4*9-10))	gr/cc.	2.908	2.908	2.908	2.908	2.908	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	%	70.13	71.34	69.39	71.28	71.24	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	%	12.21	12.42	12.08	12.41	12.40	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	29.87	28.66	30.61	28.72	28.76	29.32
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	5.69	5.69	5.69	5.69	5.69	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	40.89	43.34	39.48	43.23	43.13	42.01
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2608	2280	2403	2403	2403	
31	Factor de estabilidad		1.04	1.14	1.00	1.04	1.04	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2712	2599	2403	2499	2499	2543
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	puł.	25	30	26	32	35	30
34	Fluencia	m.m.	6.35	7.62	6.60	8.13	8.89	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4271	3411	3639	3075	2811	3441



Henry Rivasdeneyra Oblitas  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 33: Validación de la evaluación de rice – T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

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

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe

: Pátapo - La Victoria

TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

PORCENTAJE DE ASFALTO	4%	4.5%	5%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	725	725	725	725	725
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2718	2718	2718	2718	2718
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2265	2284	2280	2251	2261
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3501.0	3426.0	3475.0	3486.0	3476.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1236	1142	1195	1235	1215
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	453	434	438	467	457
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.728	2.631	2.728	2.645	2.659

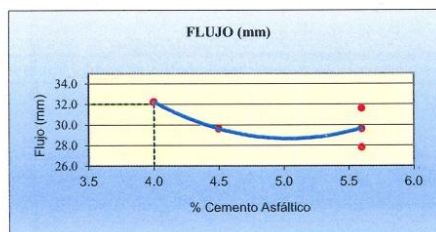
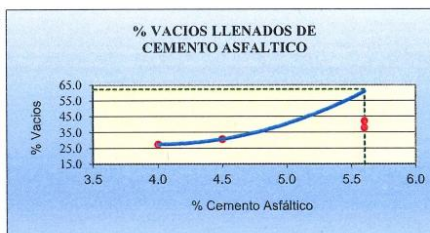
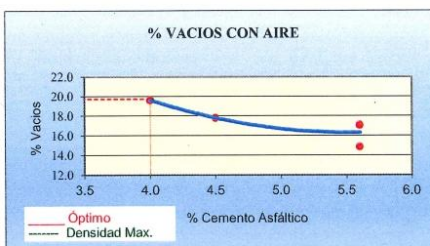
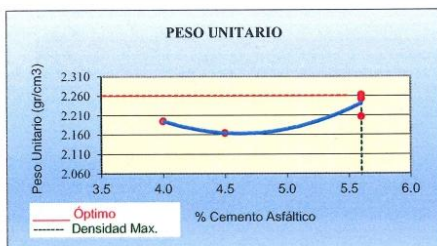


Anexo 34: Validación del contenido óptimo de asfalto – T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 Tesista : Alex Junior Roa Bernal  
 Ensayo : Método Marshall - ASTM - D 1559 AASTHO T -245  
 Fecha : 14/06/2024



RESULTADOS TRAFICO PESADO	
Óptimo Contenido C.A	4.7
Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	2.260
Vacios (%)	20.00
Vacios del Agregado mineral (%)	28.00
Vacios Llenados de C.A (%)	62.00
Flujo (mm)	8.13
Estabilidad (Kg)	3120
Relación Poivo Asfalto	0.70



Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

TECNICO DE LABORATORIO

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

Anexo 35: Pesado y dimensionamiento de briquetas de la MAC patrón – T. Pesado



*Anexo 36: Pesado y dimensionamiento de briquetas de la MAC patrón – T. Ligero*



*Anexo 37: Evidencias de procesamiento de LCN en laboratorio*



## Anexo 38: Validación de registro de carga y flexímetro para MAC + LCN - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Tesista : Alex Junior Roa Bernal

Ensayo : Método Marshall - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

## REGISTRO DE CARGA Y FLEXIMETRO PARA MAC + LCN - LIGERO

Descripción	#B	Carga	Flexímetro	Peso	Altura	Diametro
		(kg)	(pulg)	(gr)	(cm)	(cm)
Tráfico ligero MAC + 0.0% LCN	B1	2252.00	34.00	1065.77	6.20	10.10
	B2	2362.00	33.00	1003.25	5.90	10.10
	B3	2356.00	34.00	990.08	5.80	10.10
	B4	2153.00	35.00	1075.60	5.76	10.10
	B5	2265.00	35.00	1132.50	6.01	10.10
	B6	2386.00	32.00	1205.60	6.58	10.10
	B7	2638.00	35.00	1092.30	6.38	10.10
	B8	2345.00	32.00	1178.60	6.45	10.10
Tráfico ligero MAC + 2.5% LCN	B9	3134.00	31.00	1232.47	6.90	10.10
	B10	3412.00	31.00	1061.08	6.10	10.10
	B11	2855.00	30.00	1146.69	6.40	10.10
	B12	2635.00	34.00	1067.77	5.90	10.10
	B13	2746.00	38.00	1093.98	5.99	10.10
	B14	2639.00	42.00	992.20	5.93	10.10
	B15	2635.00	34.00	997.36	5.33	10.10
	B16	2789.00	30.00	1081.40	5.70	10.10
Tráfico ligero MAC + 4.5% LCN	B17	2656.00	32.00	1031.90	6.00	10.10
	B18	2854.00	32.00	1079.80	6.10	10.10
	B19	2620.00	38.00	1106.50	6.40	10.10
	B20	2465.00	33.00	1046.60	5.90	10.10
	B21	2362.00	34.00	1045.80	5.70	10.10
	B22	2463.00	35.00	1153.70	6.08	10.10
	B23	2379.00	32.00	1076.80	6.05	10.10
	B24	2645.00	33.00	1132.70	6.20	10.10
Tráfico ligero MAC + 6.5% LCN	B25	2726.00	33.00	1063.62	6.20	10.10
	B26	2912.00	32.00	1035.52	5.90	10.10
	B27	2727.00	31.00	1143.50	6.60	10.10
	B28	2360.00	30.00	1042.50	6.10	10.10
	B29	2476.00	32.00	1063.50	5.90	10.10
	B30	2672.00	33.00	1089.50	6.05	10.10
	B31	2518.00	30.00	1072.60	6.00	10.10
	B32	2456.00	32.00	1086.50	6.10	10.10



Henry Rivadeneira Oblitas  
 Tec. Laboratorio  
 USAT  
 Universidad Católica  
 Lima - Sede de Huespedes

Anexo 39: Validación de la evaluación de Marshall para MAC patrón - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

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

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 3/4"	37%
Artesa Chancada 1/4"	63%
Cemento (Filler)	2%
Látex de caucho natural (LCN)	0.0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1404
Peso de C.A	73.5
Peso del Cemento	22.5
P.T. de la M.A.	1500

Materia	% Mezcla	% Diseño
A. Grava Triturada	40.32	38.35
B. Artesa	58.68	55.75
C. Filler	1	5.90

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla
Especificaciones IVB

Número de briketa	#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
1 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	55.75	55.75	55.75	55.75	55.75	55.75	55.75	55.75	
5 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	
7 Peso específico Bulk de la grava (#4) (ASTM C 127 - AASHTO T 85 - MTC E 206)	gr/cc	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	
8 Peso específico Aparente de la grava (#4) (ASTM C 127 - AASHTO T 85 - MTC E 206)	gr/cc	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300
9 Peso específico Bulk de la arena (#4) (ASTM C 128 - AASHTO T 84 - MTC E 205)	gr/cc	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	
10 Peso específico Aparente de la arena (#4) (ASTM C 128 - AASHTO T 84 - MTC E 205)	gr/cc	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300
11 Peso específico aparente del filler	gr/cc	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	
12 Altura promedio de la briketa	cm	6.2	5.9	5.8	5.76	6.01	6.58	6.38	6.45	
13 Peso de la briketa en el aire	gr.	1065.77	1003.25	990.1	1075.6	1132.5	1205.6	1092.3	1178.6	
14 Peso de la briketa saturada superficialmente seca	gr.	1075	1020	1002.9	1089.6	1151.2	1215.6	1115.6	1198.6	
15 Peso de la briketa en el agua 25 °C	gr.	582.0	552.08	543.18	556.3	551.2	546	552	532.2	
16 Volumen de la briketa 14-15	c.c.	493.0	467.92	459.72	533.3	600	669.6	583.6	666.4	
17 Peso unitario de la briketa 13/16 (ASTM D 2726 - MTC E 514)	gr/cc	2.162	2.144	2.154	2.017	1.888	1.800	1.938	1.769	1.984
18 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041 - AASHTO T 209 - MTC E 508)	gr/cc	2.301	2.301	2.301	2.301	2.301	2.301	2.301	2.301	2.301
19 Máxima densidad teórica de los agregados 100((2/6)+(3*(7+8)+(4*(9+10)))	gr/cc	2.185	2.185	2.185	2.185	2.185	2.185	2.185	2.185	2.185
20 % de vacíos con aire 100*((1-17/18) (ASTM D 3203 - MTC E 505)	%	6.04	6.80	6.39	12.33	17.96	21.74	15.76	23.12	2.30
21 Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc	2.301	2.301	2.301	2.301	2.301	2.301	2.301	2.301	
22 Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	
23 Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4/P-10))	gr/cc	2.438	2.438	2.438	2.438	2.438	2.438	2.438	2.438	
24 Asfalto absorbido por el agregado total 100-2(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469 - MTC E 511)	%	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	
25 % del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briketa (3+4)*17/21	%	88.44	87.72	88.11	82.52	77.22	73.66	79.29	73.36	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briketa 100-(25+20)	%	5.52	5.47	5.50	5.15	4.82	4.60	4.95	4.52	
27 % vacíos del agregado mineral 100-25	%	11.56	12.28	11.89	17.48	22.78	26.34	20.71	27.64	18.83
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	
29 Relación bitum vacíos (26/27)*100	%	47.76	44.58	46.26	29.45	31.16	17.45	23.90	16.34	30.86
30 Lactura del oro	pul.	123	135	130	130	130	130	130	130	
31 Estabilidad sin correpte (taba de calibración del anillo)	kg	2252	2362	2356	2153	2265	2386	2638	2345	
32 Estabilidad corregida 31*32	kg	2252	2362	2356	2153	2265	2386	2638	2345	
33 Lactura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul.	34	33	34	35	35	32	35	32	33.75
34 Fluencia	m.m.	8.64	8.38	8.64	8.89	8.89	8.13	8.89	8.13	8.57
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2608	2818	2728	2422	2548	2936	2967	2885	2739



Henry Ribadeneyra Oblitas  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 40: Validación de la evaluación de Marshall para MAC + 2.5% LCN - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO + 2.5% LCN (LIG)  
 METODO MARSHALL - ASTM D 1559 - AASTHO T 245

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 3/4"	37%
Arena Chancada 1/4"	63%
Cemento (Filler)	2%
Látex de caucho natural (LCN)	2.5%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1404
Peso de C.A.	73.5
Peso del Cemento	22.5
P.T. de la M.A.	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.35
B Arena	58.68	40.59
C Filler	1	21.07

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueta	#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 6% pasa malla #200)	%	15.22	15.22	15.22	15.22	15.22	15.22	15.22	15.22	15.22
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	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.	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.9	6.1	6.4	5.9	5.99	5.93	5.33	5.7	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1232.47	1061.08	1146.7	1067.8	1094.0	992.2	997.4	1081.4	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1239.56	1068.81	1156.4	1076.9	1103.0	1004.5	1002.8	1087.3	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	673.2	592.08	623.9	526.0	563.5	575.9	526.5	532.5	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	366.37	476.73	532.5	550.9	539.5	428.6	476.3	354.8	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.176	2.226	2.153	1.938	2.028	2.315	2.094	1.949	2.110
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.793	2.793	2.793	2.793	2.793	2.793	2.793	2.793	2.793
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	gr/cc.	2.557	2.557	2.557	2.557	2.557	2.557	2.557	2.557	2.557
20	% de vacíos con aire 100*(1-1/18) (ASTM D 3303, MTC E 505)	%	22.10	30.32	22.91	30.61	27.41	17.12	25.04	30.22	2.74
21	Peso específico Bulk del Agregado Total ((100-2)/((2/7)+(4/9)+(5/11)))	gr/cc.	2.743	2.743	2.743	2.743	2.743	2.743	2.743	2.743	2.743
22	Peso específico Aparente del agregado total ((100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11)))	gr/cc.	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771	2.771
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	3.036	3.036	3.036	3.036	3.036	3.036	3.036	3.036	3.036
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-(4/23-21)/(21*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	3.59	3.59	3.59	3.59	3.59	3.59	3.59	3.59	3.59
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*7/21	%	74.68	76.38	73.90	66.52	69.59	79.45	71.86	66.89	
26	% del volumen de asfalto efectivo / Volumen de briqueta 100-(25+20)	%	3.22	3.30	3.19	2.87	3.00	3.43	3.10	2.89	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	25.32	23.62	26.10	33.48	30.41	20.55	28.14	33.11	27.59
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*3-4	%	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	12.73	13.96	12.22	8.57	9.88	16.68	11.02	8.72	11.72
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3134	3412	2855	2635	2746	2639	2635	2789	
31	Factor de estabilidad		0.86	1.19	0.96	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	2695	4060	2741	3136	3268	3140	3136	3319	3187
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	31	31	30	34	38	42	34	30	33.75
34	Fluencia	m.m.	7.87	7.87	7.62	8.64	9.65	10.67	8.64	7.62	8.57
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3423	5157	3597	3631	3386	2944	3631	4356	3765



Henry Rivadeneira Oblitias  
 Tec. Laboratorio USAT  
 Universidad Católica

Anexo 41: Validación de la evaluación de Marshall para MAC + 4.5% LCN - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO + 4.5% LCN (LIG)  
 METODO MARSHALL - ASTM D 1559 - AASTHO T 245

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 TESISTA : Alex Junior Ros Bernal

Grava Chancada 3/4"	59%
Arena Chancada 1/4"	40%
Cemento (Filler)	2%
Látex de caucho natural (LCN)	4.5%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1404
Peso de C.A.	73.5
Peso del Cemento	22.5
P.T. de la M.A.	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.35
B Arena	58.68	53.90
C Filler	1	7.75

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº80	Nº200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 53	17 - 28	8 - 17	4 - 8

Mezcla	
Especificaciones IVD	

#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
1	Número de briqueta								
2	% de grava irrompida en peso de la mezcla (mayor #4)	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35
3	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	53.90	53.90	53.90	53.90	53.90	53.90	53.90	53.90
4	% de filler en peso de mezcla (mínima 65% pasa malla #200)	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
5	Peso específico aparente de cemento asfáltico	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
6	Peso específico Bulk de la grava (#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
7	Peso específico aparente de la grava (#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.375
8	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
9	Peso específico aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.375
10	Peso específico aparente del filler	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
11	Altura promedio de la briqueta	6	6.1	6.4	5.9	5.7	6.08	6.05	6.2
12	Peso de la briqueta en el aire	1031.9	1079.8	1106.5	1046.6	1045.8	1153.7	1076.8	1132.7
13	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	1040.21	1086.69	1115.6	1050.8	1050.5	1158.9	1087.6	1139.5
14	Peso de la briqueta en el agua	866.5	603.16	613.1	581.29	505.9	646.67	554.0	570.06
15	Volumen de la briqueta	473.74	483.53	502.5	469.51	544.6	512.23	533.6	569.44
16	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	2.178	2.233	2.202	2.229	1.920	2.252	2.018	1.989
17	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400
18	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2/6)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	2.292	2.292	2.292	2.292	2.292	2.292	2.292	2.292
19	% de vacíos con aire 100*((1-17)/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	9.24	6.95	8.25	7.12	19.99	6.15	15.91	17.12
20	Peso específico Bulk del Agregado Total 100-2/((3/7)+(4/9)+(5/11))	2.424	2.424	2.424	2.424	2.424	2.424	2.424	2.424
21	Peso específico aparente del agregado total 100-2/((3/8)+(4/10)+(5/11))	2.371	2.371	2.371	2.371	2.371	2.371	2.371	2.371
22	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3/8)-8)+(4/9-10))	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553
23	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6/((23-21)/(23*2)) (ASTM D 4469, MTC E 511)	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
24	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	84.60	86.74	85.53	86.58	74.59	87.48	78.38	77.26
25	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	6.16	6.31	6.22	6.30	5.43	6.36	5.70	5.62
26	% vacíos del agregado mineral 100-25	15.40	13.26	14.47	13.42	25.41	12.52	21.62	22.74
27	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93	2.93
28	Relación betún vacíos (26/27)*100	39.98	47.58	43.00	46.94	21.35	50.84	26.38	24.72
29	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	2656	2854	2620	2465	2362	2463	2379	2645
30	Factor de estabilidad	1.14	1.09	1.04	1.09	1.19	1.25	1.09	1.19
31	Estabilidad corregida 31*32	3028	3111	2725	2687	2811	3079	2593	3148
32	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	32	32	38	33	34	35	32	33
33	Fluencia	8.13	8.13	9.65	8.38	8.64	8.89	8.13	8.38
34	Fluencia	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.	m.m.
35	Relación Estabilidad / Fluencia	3725	3827	2823	3205	3255	3463	3190	3755



Henry Rivaldeneyra Obútas  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 42: Validación de la evaluación de Marshall para MAC + 6.5% LCN - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO + 6.5% LCN (LIG)**  
 METODO MARSHALL - ASTM D 1559 - AASTHO T 245

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 3/4"	59%
Arena Chancada 1/4"	40%
Cemento (Filler)	2%
Látex de caucho natural (LCN)	6.5%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1404
Peso de C.A.	73.5
Peso del Cemento	22.5
P.T. de la M.A.	1500

Material	% Mezcla	% Diteña
A Grava Triturada	40.32	38.35
B Arena	58.68	50.10
C Filler	1	11.56

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7	
100	80-100	70-88	51-66	38-52	17-28	8-17	4-8	

Mezcla	IVB
Especificaciones	IVB

#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
1 Número de briqueta									
2 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35
3 % de arena combinadas en peso de mezcla (menor #4)	50.10	50.10	50.10	50.10	50.10	50.10	50.10	50.10	50.10
4 % de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71
6 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/ce: 1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023
7 Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/ce: 2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
8 Peso específico aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/ce: 2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.375
9 Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/ce: 2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
10 Peso específico aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/ce: 2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.375
11 Peso específico aparente del filler	gr/ce: 2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
12 Altura promedio de la briqueta	cm: 6.2	5.9	6.6	6.1	5.9	6.05	6	6.1	
13 Peso de la briqueta en el aire	gr: 1063.62	1035.52	1143.5	1042.5	1063.5	1089.5	1072.6	1086.5	
14 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr: 1071.5	1045.22	1151.5	1053.6	1076.2	1095.6	1082.3	1093.5	
15 Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr: 597.1	567.03	623.9	586.9	562.5	572.5	548.9	596.5	
16 Volumen de la briqueta 14-15	c.c: 484.44	478.19	527.6	466.7	513.7	523.1	533.4	497	
17 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/ce: 2.196	2.165	2.167	2.234	2.070	2.083	2.011	2.186	2.139
18 Peso específico teórico máximo (Rico) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/ce: 2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	
19 Máxima densidad teórica de las agregadas 100((2b)+(3*2)(7+8)+(4*2)(9+10))	gr/ce: 2.379	2.379	2.379	2.379	2.379	2.379	2.379	2.379	
20 % de vacíos con aire - 100*((1-17)/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%: 8.52	9.77	9.69	6.93	13.74	13.22	16.21	8.91	2.53
21 Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)((37)-(49)+(51/11))	gr/ce: 2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	2.528	
22 Peso específico aparente del agregado total (100-2)((37)+(41/10)+(51/11))	gr/ce: 2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	2.473	
23 Peso específico efectivo del agregado total (3+4) ((3P-8)+(4*P-10))	gr/ce: 2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	
24 Asfalto absorbido por el agregado total 100-6((23-21))((23*21)) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%: 0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	
25 % del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	%: 81.76	80.64	80.71	83.18	77.10	77.56	74.88	81.41	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(23+20)	%: 9.72	9.59	9.60	9.89	9.17	9.22	8.90	9.68	
27 % del vol. del agregado mineral 100-25	%: 18.24	19.36	19.29	16.82	22.90	22.44	25.12	18.59	20.34
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%: 4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	
29 Relación betún vacíos (26/27)*100	%: 53.30	49.53	49.75	58.81	40.02	41.10	35.45	52.06	47.50
30 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg: 2726	2912	2727	2360	2476	2672	2518	2456	
31 Factor de estabilidad	1.09	1.14	0.96	1.09	1.19	1.25	1.09	1.19	
32 Estabilidad corregida 31*32	kg: 2971	3320	2618	2572	2946	3340	2745	2920	
33 Lectura del Flexómetro (0.01") (35/0.254)	mil: 33	32	31	30	32	33	30	32	31.63
34 Fluencia	m.m: 8.38	8.13	7.87	7.62	8.13	8.38	7.62	8.13	8.03
35 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m: 3545	4084	3325	3376	3625	3985	3602	3596	3642



TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivasdeneyra Oblitas  
 Tec. Laboratorio USAT



Anexo 43: Validación de la evaluación de rice par MAC modificada - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

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

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

PORCENTAJE DE LCN	0%	2.5%	4.5%	6.5%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2613	2613	2613	2613
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1961	2076	1988	2024
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3461.0	3576.0	3488.0	3524.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	652	537	625	589
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.301	2.793	2.400	2.547



  
 Henry Rivasdeneyra Obitas  
 Tec. Laboratorio USAT  

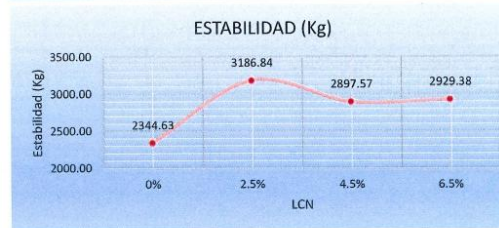
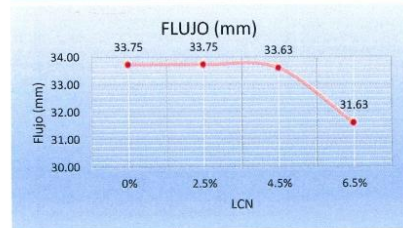
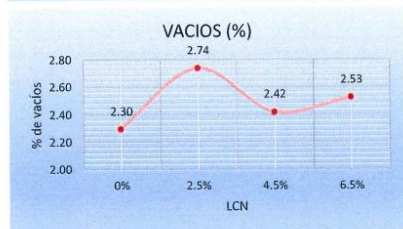

Anexo 44: Validación de la evaluación de Marshall para MAC modificada - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 Tesista : Alex Junior Roa Bernal  
 Ensayo : Método Marshall - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
0%	1.98	2.30	18.83	30.86	33.75	2344.63	1.19	2738.92
2.5%	2.11	2.74	27.59	27.59	33.75	3186.84	1.19	3765.38
4.5%	2.15	2.42	17.35	37.60	33.63	2897.57	1.19	3405.55
6.5%	2.14	2.53	20.34	47.50	31.63	2929.38	1.19	3642.15



*Henry Rivadeneira Oblitas*  
 Tec. Laboratorio USAT

TÉCNICO DE LABORATORIO

## Anexo 45: Validación de registro de carga y flexímetro para MAC + LCN - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**Tesis** : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

**Tesista** : Alex Junior Roa Bernal

**Ensayo** : Método Marshall - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

## REGISTRO DE CARGA Y FLEXIMETRO PARA MAC + LCN - PESADO

Descripción	#B	Carga	Flexímetro	Peso	Altura	Diametro
		(kg)	(pulg)	(gr)	(cm)	(cm)
Tráfico pesado MAC + 0.0% LCN	B1	3152.00	32.00	1019.03	5.60	10.10
	B2	2932.00	31.00	1063.27	5.90	10.10
	B3	3364.00	30.00	1030.19	5.70	10.10
	B4	3168.00	35.00	1080.50	5.83	10.10
	B5	3069.00	35.00	1138.75	6.09	10.10
	B6	3326.00	32.00	1210.00	6.66	10.10
	B7	3265.00	35.00	1093.00	6.43	10.10
	B8	3212.00	48.00	1188.80	6.55	10.10
Tráfico pesado MAC + 2.5% LCN	B9	2722.00	34.00	1035.48	5.60	10.10
	B10	3243.00	31.00	1065.70	5.80	10.10
	B11	3394.00	32.00	998.00	5.40	10.10
	B12	3042.00	34.00	1067.77	5.90	10.10
	B13	3152.00	38.00	1093.98	5.99	10.10
	B14	2968.00	42.00	992.20	5.93	10.10
	B15	3214.00	34.00	997.36	5.33	10.10
	B16	2987.00	30.00	1081.40	5.70	10.10
Tráfico pesado MAC + 4.5% LCN	B17	2706.00	33.00	1073.47	6.00	10.10
	B18	2916.00	39.00	1127.72	6.40	10.10
	B19	3085.00	30.00	1070.68	6.10	10.10
	B20	2745.00	33.00	1045.60	6.10	10.10
	B21	2469.00	34.00	1042.30	5.80	10.10
	B22	2635.00	35.00	1152.30	6.10	10.10
	B23	2563.00	32.00	1074.60	6.03	10.10
	B24	2496.00	33.00	1131.20	6.12	10.10
Tráfico pesado MAC + 6.5% LCN	B25	3281.00	31.00	1108.30	6.20	10.10
	B26	3755.00	32.00	1010.21	5.60	10.10
	B27	2643.00	30.00	1021.26	5.50	10.10
	B28	2260.00	30.00	982.70	5.36	10.10
	B29	2276.00	32.00	1052.10	5.98	10.10
	B30	2272.00	33.00	966.80	5.89	10.10
	B31	2218.00	30.00	1064.10	6.01	10.10
	B32	2056.00	35.00	1101.10	6.12	10.10



Henry Rivadeneira Oblitas  
 Tec. Laboratorio USAT  
 Universidad Católica  
 Lima - Instituto de Ingeniería

Anexo 46: Validación de la evaluación de Marshall para MAC patrón - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

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

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferretafe  
 Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 3/4"	37%
Arena Chancada 1/4"	63%
Cemento (Filler)	2%
Látex de caucho natural (LCN)	0%

Peso de Muestra	1404
Peso de C.A	73.5
Peso del Cemento	22.5
P.T. de la M.A.	1500

Materia	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.35
B Arena	58.68	53.90
C Filler	1	7.75

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
100.0	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 53	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

Mezcla	
Especificaciones IVB	

#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
1 Número de briqueta									
2 % de grava triturada en peso de la mezcla (mayor 84)	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35
3 % de arenas combinadas en peso de mezcla (menor 84)	53.90	53.90	53.90	53.90	53.90	53.90	53.90	53.90	53.90
4 % de filler en peso de mezcla (mínimo 63% pasa malla #200)	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
5 Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
6 Peso específico Bulk de la grava (>84) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
7 Peso específico aparente de la grava (>84) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300
8 Peso específico Bulk de la arena (<84) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
9 Peso específico aparente de la arena (<84) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300
10 Peso específico aparente del filler	gr/cc	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30
11 Alhura promedio de la briqueta	cm	5.4	5.9	5.7	5.83	6.09	6.66	6.43	6.55
12 Peso de la briqueta en el aire	gr	1019.03	1063.27	1030.2	1080.5	1138.8	1210.0	1093.0	1188.8
13 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr	1024.38	1073.32	1037.3	1083.8	1142.8	1214.2	1101.0	1195.0
14 Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr	576.2	607.62	585.04	580	610	620	598	620
15 Volumen de la briqueta 14-15	cc	448.2	465.7	452.3	503.8	522.8	594.2	503.0	575.0
16 Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.274	2.283	2.278	2.145	2.178	2.036	2.173	2.067
17 Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
18 Máxima cantidad teórica de los agregados 100((2/6)+1/3)+1/3+1/3+1/3+1/3	gr/cc	2.224	2.224	2.224	2.224	2.224	2.224	2.224	2.224
19 % de vacíos con aire 100*((1/13)) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	1.18	0.76	0.99	6.78	5.32	11.49	5.55	10.13
20 Peso específico Bulk del Agregado Total (100-21((3/7)-(4/9)+5/11))	gr/cc	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347
21 Peso específico aparente del agregado total (100-21((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	2.371	2.371	2.371	2.371	2.371	2.371	2.371	2.371
22 Peso específico efectivo del agregado usual (3+4)/((2/P. 8)+(4*P.10))	gr/cc	2.438	2.438	2.438	2.438	2.438	2.438	2.438	2.438
23 Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
24 % del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*17/21	%	91.19	91.57	91.36	86.02	87.36	81.67	87.15	82.92
25 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(23+20)	%	7.64	7.67	7.65	7.20	7.32	6.84	7.30	6.95
26 % de vacíos del agregado mineral 100-23	%	8.81	8.43	8.64	13.98	12.64	18.33	17.08	12.60
27 Relación vacíos / peso de la muestra 2 = (24/100)*(3+4)	%	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42	3.42
28 Relación beta vacíos (26/23)*100	%	86.66	91.00	88.51	51.53	57.89	37.33	56.81	40.67
29 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3152	2932	3364	3168	3069	3326	3265	3212
30 Factor de estabilidad	kg	1.25	1.19	1.25	1.09	1.09	1.04	1.09	1.04
31 Estabilidad corregida 31*32	kg	3152	2932	3364	3168	3069	3326	3265	3212
32 Lectura del flexómetro (0.01") (35/0.254)	mil	32	31	30	35	35	32	35	34.75
33 Fluencia	m.m.	8.13	7.87	7.82	8.89	8.89	8.13	8.89	12.19
34 Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3878	3724	4415	3564	3452	4092	3673	2635



Henry Rivadeneira Oblitas  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 47: Validación de la evaluación de Marshall para MAC + 2.5% LCN - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO + 2.5% LCN (PES)**  
 METODO MARSHALL - ASTM D 1559 - AASTHO T 245

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 3/4"	37%
Arena Chancada 1/4"	63%
Cemento (Filler)	2%
Látex de caucho natural (LCN)	2.5%
CEMENTO ASFALTICO FEN 60/70	

Peso de Muestra	1401
Peso de C.A	73.5
Peso del Cemento	22.5
P.T. de la M.A.	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.35
B Arena	58.68	44.39
C Filler	1	17.26

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°60	N°200
100.0	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7
100	80 - 100	70 - 85	51 - 65	35 - 50	17 - 25	8 - 17	4 - 8

Mezcla	
Especificaciones IVB	

#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
1	Número de briqueita								
2	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)								
3	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)								
4	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)								
5	Peso específico aparente de cemento asfáltico								
6	Peso específico Bulk de la grava (#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)								
7	Peso específico aparente de la grava (#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)								
8	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)								
9	Peso específico aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)								
10	Peso específico aparente del filler								
11	Altura promedio de la briqueita								
12	Peso de la briqueita en el aire								
13	Peso de la briqueita saturado superficialmente seca								
14	Peso de la briqueita en el agua								
15	Volumen de la briqueita								
16	Peso unitario de la briqueita								
17	Peso específico teórico máximo (Bice)								
18	Máxima densidad teórica de los agregados								
19	% de vacíos con aire								
20	Peso específico Bulk del Agregado Total								
21	Peso específico aparente del agregado total								
22	Peso específico efectivo del agregado total								
23	Asfalto absorbido por el agregado total								
24	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueita								
25	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueita								
26	% vacíos del agregado mineral								
27	Asfalto efectivo / peso de la mezcla								
28	Relación betún vacíos								
29	Lectura del aro								
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)								
31	Factor de estabilidad								
32	Estabilidad corregida								
33	Lectura del flexímetro								
34	Fluencia								
35	Relación Estabilidad / Fluencia								



TÉCNICO DE LABORATORIO

*Henry Rivadeneyra Obilitas*  
 Henry Rivadeneyra Obilitas  
 Tec. Laboratorio USAT  
 USAT Universidad Católica  
 Lima, Tumbado-Magdalena

Anexo 48: Validación de la evaluación de Marshall para MAC + 4.5% LCN - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO + 4.5% LCN (PES)**  
 METODO MARSHALL - ASTM D 1559 - AASTHO T 245

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 3/4"	59%
Arena Chancada 1/4"	40%
Cemento (Filler)	2%
Látex de caucho natural (LCN)	4.5%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1404
Peso de C.A	73.5
Peso del Cemento	22.5
P.T. de la M.A.	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.35
B Arena	58.68	50.10
C Filler	1	11.56
Mezcla Especificaciones TVB		

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº200	
100.0	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	6.7	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8

#	1	2	3	4	5	6	7	8	Prom.
1	Número de briqueta								
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)								
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla(memor #4)								
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)								
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico								
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 83, MTC E 206)								
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)								
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)								
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)								
11	Peso específico aparente del filler								
12	Altura promedio de la briqueta								
13	Peso de la briqueta en el aire								
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca								
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C								
16	Volumen de la briqueta 14-15								
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)								
18	Peso específico teórico máximo (Rico) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)								
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100((2/6)+(3*2/7+8)+(4*2/9+10))								
20	% de vacíos con aire 100*((1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)								
21	Peso específico Bulk del Agregado Total 100-21((3/7)+(4/9)+(5/11))								
22	Peso específico Aparente del agregado total 100-21((3/8)+(4/10)+(5/11))								
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4) /((3*P. 8)+(4*P.10))								
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/((3+4)) (ASTM D 4469, MTC E 511)								
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*1/21								
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)								
27	% de vacíos del agregado mineral 100-25								
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)								
29	Relación betún vacíos (26/27)*100								
30	Lectura del aro								
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)								
31	Factor de estabilidad								
32	Estabilidad corregida 31*32								
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)								
34	Fluencia								
35	Relación Estabilidad / Fluencia								



Henry Rivedeneyra Obitias  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 49: Validación de la evaluación de Marshall para MAC + 6.5% LCN - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO + 6.5% LCN (PES)**  
 METODO MARSHALL - ASTM D 1559 - AASTHO T 245

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

Grava Chancada 3/4"	59%
Arena Chancada 1/4"	40%
Cemento (Filler)	2%
Látex de caucho natural (LCN)	6.5%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1404
Peso de C.A.	735
Peso del Cemento	22.5
P.T. de la M.A.	1500

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	40.32	38.35
B Arena	58.68	52.00
C Filler	1	9.66

% Que Pasa el Tamiz							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200
100.0	79.9	71.4	59.7	44.2	16.0	9.5	6.7
100	80 - 100	80 - 88	81 - 68	58 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueta	#	Mezcla								Prom.
			1	2	3	4	5	6	7	8	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35	38.35
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00	52.00
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	1.023	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	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.375
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450	2.450
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.300	2.375
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
12	Altura promedio de la briqueta	cm	6.2	5.6	5.5	5.36	5.98	5.89	6.01	6.12	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr	1108.3	1010.21	1021.3	982.7	1052.1	966.8	1064.1	1101.1	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr	1118.17	1017.24	1026.1	987.9	1056.8	973.4	1069.8	1110.7	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr	608.6	563.31	577.3	456.98	618.0	527.45	597.6	581.74	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	509.6	453.93	448.9	530.92	438.8	445.95	472.2	528.96	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.175	2.225	2.275	1.851	2.398	2.168	2.254	2.082	2.178
18	Peso específico teórico máximo (Rico) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.479	2.479	2.479	2.479	2.479	2.479	2.479	2.479	
19	Máxima densidad teórica de los agregados 100/((2.65+(3*2)/(7+8))+((4*2)/(9+10)))	gr/cc	2.335	2.335	2.335	2.335	2.335	2.335	2.335	2.335	
20	% de vacíos con aire 100*((1-17/18)) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	12.28	10.24	8.23	25.35	3.30	12.56	9.11	16.04	2.48
21	Peso específico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc	2.475	2.475	2.475	2.475	2.475	2.475	2.475	2.475	
22	Peso específico Aparente del agregado total (100-2)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc	2.421	2.421	2.421	2.421	2.421	2.421	2.421	2.421	
23	Peso específico efectivo del agregado total (3+4)/((3P-8)+(4*P-10))	gr/cc	2.649	2.649	2.649	2.649	2.649	2.649	2.649	2.649	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta (3+4)*1721	%	82.73	84.66	86.55	70.41	91.20	82.47	85.72	79.19	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta 100-(25+20)	%	4.99	5.10	5.22	4.24	5.50	4.97	5.17	4.77	
27	% de vacíos del agregado mineral 100-25	%	17.27	15.34	13.45	29.59	8.80	17.53	14.28	20.81	17.13
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2-(24/100)*(3+4)	%	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	
29	Relación betún vacíos (26/27)*100	%	28.88	33.26	38.79	14.35	62.49	28.36	36.20	22.94	33.16
30	Lectura del aro	pul.	158	170	162	154	146	138	130	122	
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	3281	3755	2643	2260	2276	2272	2218	2056	
31	Factor de estabilidad		1.00	1.25	1.25	1.09	1.19	1.25	1.09	1.19	
32	Estabilidad corregida 31*32	kg	3281	4694	3304	2463	2708	2840	2418	2447	3019.33
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35/0.254)	pul.	31	32	30	30	32	33	30	35	31.63
34	Fluencia	m.m.	7.87	8.13	7.62	7.62	8.13	8.38	7.62	8.89	8.03
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4167	5775	4336	3233	3332	3388	3173	2752	3769.43



Henry Ripadenebra Obilias  
 Tec. Laboratorio USAT  
 Universidad Católica  
 Lima, Perú

Anexo 50: Validación de la evaluación de rice par MAC modificada - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

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

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

PORCENTAJE DE LCN	0.0%	2.5%	4.5%	6.5%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2613	2613	2613	2613
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	1961	2026	2008	2024
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3461.0	3526.0	3508.0	3524.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	652	587	605	589
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.301	2.555	2.479	2.547



Anexo 51: Validación de la evaluación de Marshall para MAC modificada - T. Pesado



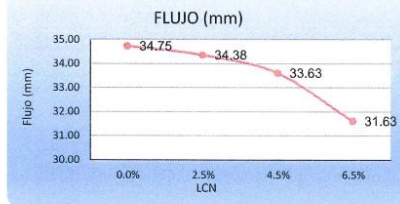
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Tesista : Alex Junior Roa Bernal

Ensayo : Método Marshall - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	Vacios (%)	Vacios del agregado	Vacios Llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad
0.0%	2.18	2.35	12.60	63.80	34.75	3186.00	1.19	3678.91
2.5%	2.23	2.62	19.95	19.95	34.38	3676.60	1.19	4260.43
4.5%	2.14	2.53	21.25	32.37	33.63	3043.91	1.19	3586.80
6.5%	2.18	2.48	17.13	33.16	31.63	3019.33	1.19	3769.43



## Anexo 52: Validación de registro de pesos para cantabro de MAC + LCN



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Tesista : Alex Junior Roa Bernal

Ensayo : Ensayo Cantabro Desgaste para MAC - MTC 515

REGISTRO DE PESOS PARA MAC + LCN - LIGERO  
 (CANTABRO)

Descripción	#B	Peso Inicial	Peso Final
		(gr)	(gr)
Tráfico ligero + 0.0% LCN	B1	1003.20	974.76
	B2	989.10	901.05
	B3	980.80	868.18
	B4	982.80	665.35
Tráfico ligero + 2.5% LCN	B5	1030.20	821.68
	B6	884.90	503.80
	B7	966.90	752.77
	B8	964.80	572.09
Tráfico ligero + 4.5% LCN	B9	1066.20	614.94
	B10	1019.40	898.99
	B11	959.20	655.31
	B12	941.20	762.05
Tráfico ligero + 6.5% LCN	B13	1038.00	908.98
	B14	1099.30	978.91
	B15	1009.50	913.43
	B16	986.90	866.53



REGISTRO DE PESOS PARA MAC + LCN - PESADO  
 (CANTABRO)

Descripción	#B	Peso Inicial	Peso Final
		(gr)	(gr)
Tráfico pesado MAC + 0.0% LCN	B1	1020.50	863.70
	B2	1019.00	913.45
	B3	991.40	849.86
	B4	1007.90	927.38
Tráfico pesado MAC + 2.5% LCN	B5	1016.80	970.99
	B6	1018.00	890.84
	B7	1053.20	953.59
	B8	1043.50	960.55
Tráfico pesado MAC + 4.5% LCN	B9	834.10	752.64
	B10	845.20	687.51
	B11	992.10	894.97
	B12	914.40	852.35
Tráfico pesado MAC + 6.5% LCN	B13	976.60	954.85
	B14	998.20	901.78
	B15	1029.90	1002.08
	B16	962.70	826.18



Anexo 53: Validación de la evaluación de cantabro para MAC modificada - T. Ligerio

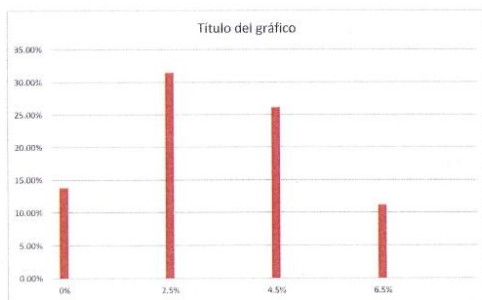


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS - LIGERO  
 MTC E 515

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 TESISISTA : Pátapo - La Victoria  
 : Alex Junior Ros Bernal

ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS							
N° DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	N° DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE
1	CONVENCIONAL	0%	300	24°C	1003.20	974.76	2.83%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	989.10	901.85	8.90%
3	CONVENCIONAL		300	24°C	980.80	868.18	11.48%
4	CONVENCIONAL		300	24°C	982.80	665.35	32.30%
13.88%							
1	CONVENCIONAL	2.5%	300	24°C	1030.20	821.68	20.24%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	884.90	503.8	43.07%
3	CONVENCIONAL		300	24°C	966.90	752.77	22.15%
4	CONVENCIONAL		300	24°C	964.80	572.09	40.70%
31.54%							
1	CONVENCIONAL	4.5%	300	24°C	1066.20	614.94	42.32%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	1019.40	898.99	11.81%
3	CONVENCIONAL		300	24°C	959.20	655.31	31.68%
4	CONVENCIONAL		300	24°C	941.20	762.05	19.03%
26.21%							
1	ADICIÓN	6.5%	300	24°C	1038.00	908.98	12.43%
2	ADICIÓN		300	24°C	1099.30	978.91	10.95%
3	ADICIÓN		300	24°C	1009.50	913.43	9.52%
4	ADICIÓN		300	24°C	986.90	866.53	12.20%
11.27%							



NOTA:  
 El ensayo MTC E 515, no deberán ser superiores al 25%, al 25 °C  
 El ensayo (MTC E 515), tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60°C, no podrá exceder del 40%

Henry Riuandeneira Oblitas  
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo 54: Validación de la evaluación de cantabro para MAC modificada - T. Pesado

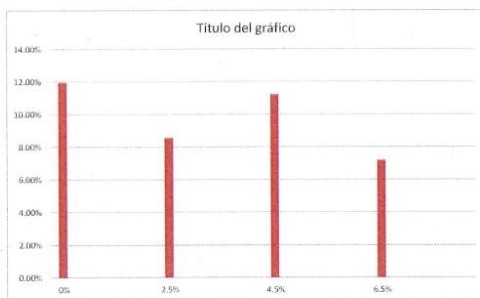


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS - PESADO  
 MTC E 515

TESIS : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 CANTERA : Tres Tomas - Ferreñafe  
 : Pátapo - La Victoria  
 TESISTA : Alex Junior Roa Bernal

ENSAYO CANTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS								
N° DE BRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	N° DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
1	CONVENCIONAL	0%	300	24°C	1020.50	863.7	15.37%	12.00%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	1019.00	913.45	10.36%	
3	CONVENCIONAL		300	24°C	991.40	849.86	14.28%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	1007.90	927.38	7.99%	
1	CONVENCIONAL	2.5%	300	24°C	1016.80	970.99	4.51%	8.60%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	1018.00	890.84	12.49%	
3	CONVENCIONAL		300	24°C	1053.20	953.59	9.46%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	1043.50	960.55	7.95%	
1	CONVENCIONAL	4.5%	300	24°C	834.10	752.64	9.77%	11.25%
2	CONVENCIONAL		300	24°C	845.20	687.51	18.66%	
3	CONVENCIONAL		300	24°C	992.10	894.97	9.79%	
4	CONVENCIONAL		300	24°C	914.40	852.35	6.79%	
1	ADICIÓN	6.5%	300	24°C	976.60	954.85	2.23%	7.19%
2	ADICIÓN		300	24°C	998.20	901.78	9.66%	
3	ADICIÓN		300	24°C	1029.90	1002.08	2.70%	
4	ADICIÓN		300	24°C	962.70	826.18	14.18%	



NOTA:  
 El ensayo MTC E 515, no deberán ser superiores al 25%, al 25 °C  
 El ensayo (MTC E 515), tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 60°C, no podrá exceder del 40%

Henry Riuadeneyra Obittas  
 Tec. Laboratorio USAT  
 Universidad Católica  
 Usando la Inteligencia

Anexo 55: Validación de registro de pesos de Lottman para MAC + LCN



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

Tesi: Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Tesi: Alex Junior Roa Bernal

Ensi: ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

REGISTRO DE PESOS PARA MAC + LCN - LIGERO (LOTTMAN)

Descripción	#B	Peso Seco	Peso en Agua	Peso Semiseco
		(gr)	(gr)	(gr)
Tráfico ligero MAC + 0.0% LCN	B1	1018.67	588.80	1035.61
	B2	1012.09	574.50	1035.06
	B3	1063.96	553.36	1070.46
	B4	1029.31	580.22	1039.66
Tráfico ligero MAC + 2.5% LCN	B5	1169.51	599.63	1060.95
	B6	1214.07	661.54	1094.05
	B7	1056.18	575.67	1070.00
	B8	1084.14	640.48	1101.12
Tráfico ligero MAC + 4.5% LCN	B9	1034.09	572.33	1047.23
	B10	1102.79	602.44	1122.07
	B11	1090.60	610.54	1103.55
	B12	1112.10	626.08	1126.43
Tráfico ligero MAC + 6.5% LCN	B13	1097.66	607.58	1091.62
	B14	1067.96	596.19	1222.36
	B15	1079.54	598.83	1064.83
	B16	1109.84	618.17	1177.48

REGISTRO DE PESOS PARA MAC + LCN - LIGERO (LOTTMAN)

Descripción	#B	Peso Seco	Peso en Agua	Peso Semiseco
		(gr)	(gr)	(gr)
Tráfico pesado MAC + 0.0% LCN	B1	1049.15	609.18	1060.81
	B2	1089.03	623.23	1111.65
	B3	1090.53	531.61	1105.75
	B4	1059.97	614.32	1074.71
Tráfico pesado MAC + 2.5% LCN	B5	987.96	599.47	1110.80
	B6	1036.02	598.14	1111.02
	B7	988.09	607.47	1105.22
	B8	1134.08	524.58	1127.46
Tráfico pesado MAC + 4.5% LCN	B9	1086.85	556.90	997.10
	B10	1081.60	596.27	1045.63
	B11	1046.61	563.87	1000.31
	B12	1086.87	630.62	1141.49
Tráfico pesado MAC + 6.5% LCN	B13	1046.25	618.35	1059.91
	B14	997.53	578.08	1021.56
	B15	1032.92	566.60	1049.05
	B16	1085.49	589.16	1114.93

  
 He aquí  
 Otorgado  
 Tec. Laboratorio  
 USA\*



Anexo 56: Validación de la evaluación de Lottman para MAC patrón - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASHTO T 283) - LIGERO

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente  
 Tesista : Alex Junior Roa Bernal

MUESTRA MAC + 0.00% LCN

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS				
	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.
D	Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2	10.16	10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9	6.6	6.7	6.8	6.8	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1035.6	1073.6	1089.5	1075.6	1066.9	1029.3	1064.0	1012.0	1018.7
B	SSD de la Muestra	gr	1065.90	1089.60	1101.50	1098.50		1039.66	1070.46	1035.06	1035.61
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	540.00	520.00	580.00	563.00		580.22	553.90	574.00	588.80
E	Volumen (B-C)	cc	525.9	569.6	521.5	535.5		459.4	516.6	461.1	446.8
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	1.969	1.888	2.089	2.009	2.0	2.240	2.060	2.195	2.280
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.626	2.626	2.626	2.626	2.6	2.626	2.626	2.626	2.626
H	% de vacíos ((G-F)/G)*100	%	25.01	28.09	20.44	23.51	24.5	14.69	21.57	16.41	13.18
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	131.54	160.01	106.62	125.91		67.48	111.40	75.68	58.90

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28° Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C							
B'	SSD de la Muestra	gr	1124.00	1115.60	1112.00	1116.00	
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	575.00	523.00	545.00	554.00	
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	549.0	592.6	567.0	562.0	
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	88.4	40.0	22.5	40.4	
-	Saturación (100*J'/I)	%	67.2	25.0	21.1	32.1	
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	4.39	4.04	8.72	4.95	

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María							
t''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9	
B''	SSD de la Muestra	gr	1156.00	1198.00	1165.60	1174.00	
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	560.00	532.00	575.00	536.00	
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	596.0	666.0	590.6	638.0	
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	120.4	122.4	76.1	98.4	
-	Saturación (100*J''/I)	%	91.5	76.5	71.4	78.2	
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	12.77	16.27	12.19	18.24	
-	Carga Máxima Kg	kg	295	252	282	236	276.333
-	Carga Máxima N	N	2893.950	2472.120	2766.420	2315.160	2710.830
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.84	2.32	2.56	2.14	2.58

RESISTENCIA RETENIDA (%) =	80.878%
RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) =	80.571%

Henry Oblitas  
 Obllitas  
 USAT  
 Universidad Católica  
 Tte. Laboratorio  
 USAT



TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 57: Validación de la evaluación de Lottman para MAC + 2.5% LCN - T. Ligerero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASHTO T 283) - LIGERO

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Tesista : Alex Junior Roa Bernal

MUESTRA MAC + 2.50% LCN

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS					
-	Número de briqueta	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.
D	Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9		6.6	6.7	6.8	6.8	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1065.3	1099.5	1135.0	1095.6	1099.7	1084.1	1056.1	1214.4	1169.9	1118.2
B	SSD de la Muestra	gr	1075.60	1105.60	1165.00	1125.60		1101.00	1070.00	1294.00	1180.00	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	580.00	590.00	685.00	580.00		640.48	575.00	661.00	599.00	
E	Volumen ( B - C)	cc	495.6	515.6	480.0	545.6		460.5	495.0	633.0	581.0	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.150	2.131	2.365	2.008	2.2	2.354	2.134	1.918	2.014	2.1
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.626	2.626	2.626	2.626	2.6	2.626	2.626	2.626	2.626	2.6
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	%	18.13	18.87	9.96	23.53	15.7	10.35	18.75	26.94	23.32	18.7
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	89.86	97.29	47.79	128.40		47.68	92.84	170.56	135.50	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C						
B'	SSD de la Muestra	gr	1132.00	1126.60	1193.00	1126.00
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	520.00	536.00	610.00	560.00
E'	Volumen de la Muestra ( B' - C')	cc	612.0	590.6	583.0	566.0
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	66.5	28.1	60.0	30.4
-	Saturación ( 100*J'/I)	%	74.0	28.9	125.3	23.7
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	23.49	14.55	21.88	3.74

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María						
t''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9
B''	SSD de la Muestra	gr	1156.00	1182.00	1163.60	1174.00
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	560.00	532.00	575.00	536.00
E''	Volumen ( B'' - C'')	cc	596.0	650.0	590.6	638.0
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	90.5	83.5	30.6	78.4
-	Saturación ( 100*J''/I)	%	100.7	85.8	64.0	61.1
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	16.41	22.76	18.91	16.33
-	Carga Máxima Kg	kg	260	240	290	262.500
-	Carga Máxima N	N	2550.600	2354.400	2550.600	2844.900
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.51	2.21	2.36	2.63

RESISTENCIA RETENIDA (%) =	83.333%
RAZON DEL ESFUERZO A TENSION (TRS) =	82.683%

Henry Riva deneyra  
 Obulias  
 Tec. Laboratorio  
 USAT  
 Universidad Católica  
 Lima Facultad de Ingeniería



Anexo 58: Validación de la evaluación de Lottman para MAC + 4.5% LCN - T. Ligerio



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá Nº 855 - Chiclayo - Perú

ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASHTO T 283) - LIGERO

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Tesista : Alex Junior Roa Bernal

MUESTRA MAC + 4.50% LCN

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS					
-	Número de briqueta	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.
D	Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9		6.6	6.7	6.8	6.8	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1078.0	1103.0	1108.0	1110.0	1097.0	1112.1	1090.6	1102.0	1034.0	1101.6
B	SSD de la Muestra	gr	1098.00	1116.00	1136.00	1132.00		1047.00	1122.00	1103.00	1126.00	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	570.00	585.00	595.00	580.00		572.00	602.00	610.00	626.00	
E	Volumen (B - C)	cc	528.0	531.0	541.0	552.0		475.0	520.0	493.0	500.0	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.042	2.081	2.048	2.011	2.1	2.341	2.097	2.235	2.068	2.2
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.661	2.661	2.661	2.661	2.7	2.661	2.661	2.661	2.661	2.7
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	%	23.27	21.80	23.03	24.43	22.7	12.02	21.18	16.00	22.28	16.4
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	122.89	115.74	124.61	134.86		57.07	110.15	78.87	111.42	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C												
B'	SSD de la Muestra	gr	1125.60	1115.00	1175.00	1123.00						
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	524.00	532.00	580.00	520.00						
E'	Volumen de la Muestra (B' - C')	cc	601.6	583.0	595.0	603.0						
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	47.6	10.0	67.0	13.0						
-	Saturación (100*J'/I)	%	38.7	8.6	53.8	9.6						
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	13.94	9.79	9.98	9.24						

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María												
t''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9						
B''	SSD de la Muestra	gr	1165.00	1150.60	1180.00	1150.00						
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	560.00	532.00	575.00	536.00						
E''	Volumen (B'' - C'')	cc	605.0	618.6	605.0	614.0						
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	87.0	45.6	72.0	40.0						
-	Saturación (100*J''/I)	%	70.8	39.4	57.8	29.7						
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	12.80	15.03	10.76	10.28						
-	Carga Máxima Kg	kg	210	250	230	205	223.750	276	322.0	296	238	283.0
-	Carga Máxima N	N	2060.100	2452.500	2256.300	2011.050	2194.988	2707.560	3138.820	2903.760	2334.780	2776.2
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.02	2.30	2.09	1.86	2.07	2.62	3.01	2.73	2.19	2.64

RESISTENCIA RETENIDA (%) =	79.064%
RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSION (TRS) =	78.450%

Henry Rivas de la Cruz Obulua  
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 USAT  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 59: Validación de la evaluación de Lottman para MAC + 6.5% LCN - T. Ligero



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASHTO T 283) - LIGERO

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Tesista : Alex Junior Roa Bernal

MUESTRA MAC + 6.50% LCN

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS					
	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.	
D	Diametro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9	6.6	6.7	6.8	6.8		
A	Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1056.5	1089.5	1065.5	1089.5	1070.5	1109.2	1079.0	1067.0	1097.0	1085.1
B	SSD de la Muestra	gr	1087.90	1109.50	1116.50	1112.00		1137.00	1094.00	1122.00	1109.00	
C	Peso de la Muestra en Agua	gr	560.00	575.50	585.60	590.00		618.00	598.00	596.00	607.00	
E	Volumen ( B - C)	cc	527.9	534.0	530.9	522.0		519.0	496.0	526.0	502.0	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	2.001	2.040	2.007	2.087	2.0	2.137	2.175	2.029	2.185	2.1
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.647	2.647	2.647	2.647	2.6	2.647	2.647	2.647	2.647	2.6
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	%	24.39	22.92	24.18	21.15	23.8	19.26	17.81	23.36	17.44	20.1
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	128.75	122.39	128.35	110.39		99.94	88.35	122.89	87.55	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28° Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C											
B'	SSD de la Muestra	gr	1115.60	1125.00	1165.00	1193.00					
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	524.00	532.00	580.00	580.00					
E'	Volumen de la Muestra ( B' - C')	cc	591.6	593.0	585.0	613.0					
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	59.1	35.5	99.5	103.5					
-	Saturación ( 100*J'/I)	%	45.9	29.0	77.5	93.8					
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	12.07	11.05	10.19	17.43					

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María												
t''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9						
B''	SSD de la Muestra	gr	1156.60	1145.80	1165.80	1165.20						
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	560.00	532.00	575.00	536.00						
E''	Volumen ( B'' - C'')	cc	596.6	613.8	590.8	629.2						
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	100.1	56.3	100.3	75.7						
-	Saturación ( 100*J''/I)	%	77.7	46.0	78.1	68.6						
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	11.61	13.46	10.24	17.49						
-	Carga Máxima Kg	kg	220	210	220	230	220.000	310	269.0	272	263	278.5
-	Carga Máxima N	N	2158.200	2060.100	2158.200	2256.300	2158.200	3041.100	2638.890	2668.320	2580.030	2732.1
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.12	1.94	2.00	2.09	2.02	2.94	2.52	2.51	2.42	2.66

RESISTENCIA RETENIDA (%) =		78.995%
RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) =		76.002%

Henry Riudenebra Obillas  
 Tec. LABORATORIO USAT  
 Universidad Católica del Perú - Instituto de Ingenieros



Anexo 60: Validación de la evaluación de Lottman para MAC patrón - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASHTO T 283) - PESADO

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Tesista : Alex Junior Roa Bernal

MUESTRA MAC + 0.00% LCN

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS				
#		1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.
D	Diametro	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	6.5	6.8	6.9	6.9		6.6	6.7	6.8	6.8	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	1098.6	1180.9	1106.5	1106.5	1128.7	1049.2	1089.0	1060.0	1060.0	1066.1
B	SSD de la Muestra	1119.00	1122.00	1136.00	1136.00		1190.00	1181.65	1185.70	1185.70	
C	Peso de la Muestra en Agua	340.00	320.00	380.00	363.00		609.00	623.00	531.50	614.90	
E	Volumen ( B - C)	579.0	602.0	356.0	573.0		581.0	556.7	654.2	570.8	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	1.897	1.962	1.990	1.931	1.9	1.806	1.956	1.620	1.857	1.8
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	2.520	2.520	2.520	2.520	2.5	2.520	2.520	2.520	2.520	2.5
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	24.71	22.16	21.03	23.38	22.6	28.35	22.37	35.71	26.31	28.8
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	143.08	133.42	116.94	133.94		164.70	124.53	235.60	150.20	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Desilada a 25 °C						
B'	SSD de la Muestra	gr	1198.60	1296.30	1179.80	1196.50
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	365.50	320.00	320.00	330.00
E'	Volumen de la Muestra ( B' - C')	cc	633.1	776.3	659.8	666.5
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	100.0	115.6	73.3	90.0
-	Saturación ( 100*J'/I)	%	69.9	86.6	62.7	67.2
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	9.34	28.99	18.67	16.32

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María												
t''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9						
B''	SSD de la Muestra	gr	1162.00	1250.00	1175.00	1198.00						
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	378.00	320.00	390.00	320.00						
E''	Volumen ( B'' - C'')	cc	584.0	730.0	585.0	678.0						
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	63.4	69.1	68.5	91.5						
-	Saturación ( 100*J''/I)	%	44.3	51.8	58.6	68.3						
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	0.79	16.48	4.40	15.75						
-	Carga Máxima Kg	kg	436	436	478	615	496.250	555	545.0	565	650	578.8
-	Carga Máxima N	N	4473.360	4277.160	4689.180	6033.150	4868.213	5444.550	5346.450	5342.650	6376.500	5677.5
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	4.40	4.02	4.34	5.58	4.58	5.27	5.10	5.21	5.99	5.39

RESISTENCIA RETENIDA (%) =	85.745%
RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) =	85.053%



Anexo 61: Validación de la evaluación de Lottman para MAC + 2.5% LCN - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 835 - Chiclayo - Perú

ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASHTO T 283) - PESADO

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Tesista : Alex Junior Roa Bernal

MUESTRA MAC + 2.50% LCN

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS					
- Número de briqueta	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.	
D	Diametro	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16		
f	Espesor	6.4	6.7	6.6	6.7		6.4	6.8	6.5	6.5		
A	Peso de la muestra Seca al Aire	1086.9	1178.9	1098.6	1092.5	1121.5	1134.1	988.9	1036.0	978.9	1053.0	
B	SSD de la Muestra	1106.90	1129.50	1142.60	1130.50		1127.46	1105.00	1111.02	1110.80		
C	Peso de la Muestra en Agua	542.60	536.50	572.30	546.90		524.58	607.47	597.14	599.74		
E	Volumen ( B - C )	564.3	593.0	570.3	583.6		602.9	497.5	513.9	511.1		
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	1.926	1.988	1.926	1.872	1.9	1.881	1.988	2.016	1.915	2.0
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.544	2.544	2.544	2.544	2.5	2.544	2.544	2.544	2.544	2.5
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	%	24.28	21.85	24.28	26.41	23.5	26.05	21.87	20.75	24.70	22.9
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	137.04	129.57	138.44	154.14		157.07	108.79	106.62	126.25	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C						
B'	SSD de la Muestra	gr	1196.50	1286.90	1186.90	1186.90
C'	Peso de la Muestra en Agua	gr	556.60	536.50	526.50	536.50
E'	Volumen de la Muestra ( B' - C' )	cc	639.9	750.4	660.4	650.4
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	109.6	108.0	88.3	94.4
-	Saturación ( 100*J'/I )	%	80.0	83.3	83.8	81.2
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	13.40	26.54	15.80	11.45

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María						
f''	Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9
B''	SSD de la Muestra	gr	1156.90	1265.90	1180.60	1196.50
C''	Peso de la Muestra en Agua	gr	581.60	526.60	586.90	526.00
E''	Volumen ( B'' - C'' )	cc	575.3	739.3	593.7	670.5
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	70.0	87.0	82.0	104.0
-	Saturación ( 100*J''/I )	%	51.1	67.1	59.2	67.5
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	1.72	19.50	3.54	13.36
-	Carga Máxima Kg	kg	274	319	306	309
-	Carga Máxima N	N	2687.940	3129.390	3001.860	3051.290
-	Fuerza Tensible KPA	kg/cm2	2.64	2.94	2.78	2.81

RESISTENCIA RETENIDA (%) =	88.889%
RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) =	83.801%

Henry Rivadeneira Oblitas  
 Tec. Laboratorio USAT  
 Universidad Católica del Perú



Anexo 62: Validación de la evaluación de Lottman para MAC + 4.5% LCN - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá Nº 855 - Chiclayo - Perú

ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASHTO T 283) - PESADO

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Tesista : Alex Junior Roa Bernal

MUESTRA MAC + 4.50% LCN

DATOS	#	MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS				
		1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.
- Número de briqueta											
D Diámetro	cm	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
t Espesor	cm	6.4	6.7	6.6	6.7		6.4	6.8	6.5	6.5	
A Peso de la muestra Seca al Aire	gr	1075.6	1189.9	1132.9	1105.6	1126.1	1081.6	1046.6	1086.9	1078.9	1071.7
B SSD de la Muestra	gr	1089.60	1098.60	1196.50	1126.50		1045.63	1109.31	1141.90	1119.50	
C Peso de la Muestra en Agua	gr	542.60	536.50	572.30	546.90		524.58	607.47	597.14	599.74	
E Volumen ( B - C)	cc	547.0	562.1	624.2	579.6		521.1	501.8	544.8	519.8	
F Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	gr/cc	1.966	2.081	1.815	1.908	2.0	2.076	2.086	1.995	2.076	2.1
G Peso específico teórico máximo (Rice)	gr/cc	2.610	2.610	2.610	2.610	2.6	2.610	2.610	2.610	2.610	2.6
H % de vacíos ((G - F)/G)*100	%	24.67	20.27	30.47	26.92	25.1	20.48	20.10	23.57	20.48	21.4
I Volumen de vacíos ((H*E)/100)	cc	134.94	113.91	190.19	156.04		106.69	100.88	128.38	106.43	

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C						
B' SSD de la Muestra	gr	1186.50	1275.90	1189.50	1176.50	NO SE EJECUTA
C' Peso de la Muestra en Agua	gr	560.00	625.00	510.00	520.00	
E' Volumen de la Muestra ( B' - C')	cc	626.5	650.9	679.5	656.5	
J' Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	cc	110.9	106.0	56.6	70.9	
- Saturación (100*J'/I)	%	82.2	93.1	29.8	45.4	
- Hinchamiento (E' - E)*100/E	%	14.53	15.80	8.86	13.27	

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María											
t'' Espesor	cm	6.5	6.8	6.9	6.9	NO SE EJECUTA					
B'' SSD de la Muestra	gr	1165.60	1256.50	1206.00	1185.60						
C'' Peso de la Muestra en Agua	gr	570.00	536.00	520.00	532.00						
E'' Volumen ( B'' - C'')	cc	595.6	720.5	686.0	653.6						
J'' Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	cc	90.0	86.6	73.1	80.0						
- Saturación (100*J''/I)	%	66.7	76.0	38.4	51.3						
- Hinchamiento (E'' - E)*100/E	%	7.76	24.34	9.09	11.27						
- Carga Máxima Kg	kg	390	380	365	396	382.750	515	566.0	395	480	489.0
- Carga Máxima N	N	3825.900	3727.800	3580.650	3884.760	3754.778	5052.150	5552.460	3874.950	4708.800	4797.1
- Fuerza Tensil KPA	kg/cm2	3.76	3.50	3.31	3.60	3.54	5.04	5.22	3.81	4.63	4.67

RESISTENCIA RETENIDA (%) =	78.272%
RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSIÓN (TRS) =	75.815%

Henry Riuadeneyra Obilias  
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 USAT  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 63: Validación de la evaluación de Lottman para MAC + 6.5% LCN - T. Pesado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 Av. San Josemaría Escrivá N° 855 - Chiclayo - Perú

ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASHTO T 283) - PESADO

Tesis : Influencia de la adición de látex de caucho natural en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente

Tesista : Alex Junior Roa Bernal

MUESTRA MAC + 6.50% LCN

DATOS		MUESTRAS SUMERGIDAS					MUESTRAS SECAS				
	#	1	2	3	4	Prom.	5	6	7	8	Prom.
D	Diametro	10.2	10.2	10.2	10.2		10.16	10.16	10.16	10.16	
t	Espesor	6.5	6.5	6.6	6.8		6.4	6.8	6.5	6.5	
A	Peso de la muestra Seca al Aire	1086.5	1125.6	1136.5	1124.6	1116.2	1085.5	1032.9	997.3	1046.2	1038.6
B	SSD de la Muestra	1189.60	1145.60	1152.60	1145.60		1114.93	1049.05	1021.36	1059.91	
C	Peso de la Muestra en Agua	586.90	574.60	590.60	596.00		589.19	566.60	578.08	618.50	
E	Volumen ( B - C)	602.7	571.0	562.0	549.6		525.7	482.5	443.3	441.4	
F	Peso específico Bulk de la briqueta (A/E)	1.803	1.971	2.022	2.046	1.9	2.065	2.141	2.250	2.370	2.2
G	Peso específico teórico máximo (Rice)	2.544	2.544	2.544	2.544	2.5	2.544	2.544	2.544	2.544	2.5
H	% de vacíos ((G - F)/G)*100	29.14	22.51	20.51	19.56	24.0	18.84	15.84	11.56	6.83	15.4
I	Volumen de vacíos ((H*E)/100)	175.60	128.53	115.24	107.52		99.03	76.41	51.23	30.15	

*Henry Rivas Obúlas*  
 Henry Rivas Obúlas  
 Tec. Laboratorio USAT  
 Universidad Católica del Perú

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 28" Hg. - De 5 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C						
B'	SSD de la Muestra	1175.90	1240.00	1185.60	1165.00	
C'	Peso de la Muestra en Agua	552.00	620.00	575.00	575.00	
E'	Volumen de la Muestra ( B' - C')	623.9	620.0	610.6	590.0	
J'	Volumen de Agua de Absorción (B' - A)	89.4	114.4	49.1	40.4	
-	Saturación ( 100*J'/I)	50.9	89.0	42.6	37.6	
-	Hinchamiento (E' - E)*100/E	3.52	8.58	8.65	7.35	

NO SE EJECUTA

Condiciones de Saturación Por 24 Hrs. En Agua a 60 °C - Baño de María						
t''	Espesor	6.5	6.5	6.6	6.8	
B''	SSD de la Muestra	1186.50	1189.50	1179.60	1165.50	
C''	Peso de la Muestra en Agua	580.00	563.00	570.00	598.00	
E''	Volumen ( B'' - C'')	606.5	626.5	609.6	567.5	
J''	Volumen de Agua de Absorción (B'' - A)	100.0	63.9	43.1	40.9	
-	Saturación ( 100*J''/I)	56.9	49.7	37.4	38.0	
-	Hinchamiento (E'' - E)*100/E	0.61	8.95	7.80	3.03	
-	Carga Máxima Kg	170	190	195	240	198.750
-	Carga Máxima N	1667.700	1863.900	1912.950	2354.400	1949.738
-	Fuerza Tensible KPA	1.64	1.83	1.85	2.21	1.88

NO SE EJECUTA

LABORATORIO DE ENSAYO DE ASFALTO Y SUELOS  
 USAT  
 Universidad Católica del Perú  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

RESISTENCIA RETENIDA (%) =	62.109%
RAZÓN DEL ESFUERZO A TENSION (TRS) =	61.366%

Anexo 64: Evidencias fotográficas de pesado de briquetas para cantabro



Anexo 65: Evidencias fotográficas de briquetas desgastadas por cantabro



*Anexo 66: Evidencias fotográficas durante la elaboración de la investigación*

