

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



**Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas  
y mecánicas de mezclas asfálticas, 2023**

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

**AUTOR**

**Karla Nahomy Fernandez Failoc**

**ASESOR**

**Manuel Alejandro Borja Suarez**

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

**Chiclayo, 2024**

**Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas, 2023**

PRESENTADA POR

**Karla Nahomy Fernandez Failoc**

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

**INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR

Gian Franco Pérez Garavito

PRESIDENTE

Ronald Esteban Villanueva Maguiña

SECRETARIO

Manuel Alejandro Borja Suarez

VOCAL

## **Dedicatoria**

El proyecto va dedicado a mis padres Silvana Failoc y Carlos Fernandez por la orientación en la vida, por las enseñanzas dadas y resiliencia inculcada. Además de ser el origen de mi motivación, son luz que guía mi camino.

Por ser mi compañera de vida, la dedicatoria también es hacia mi hermana menor, Ximena Fernandez, por el apoyo, el cariño y la alegría desde que naciste.

## **Agradecimientos**

Agradecimientos infinitos a mis padres, por la confianza y apoyo incondicional en mí, en sus sacrificios realizados pues ha hecho posible alcanzar el éxito de este proyecto.

Así mismo, a familiares tales como mi hermana y mi tía Lina Failoc, por la atención, el cariño prestado en todo momento y por ser fuente de ánimos incontables.

A la Universidad Santo Toribio de Mogrovejo con mención al laboratorio de suelos y asfalto por prestarme medios para realizar la presente investigación.

Finalmente, a la autora de la investigación, por su objetividad, buen ánimo y resiliencia.

## 2024 I\_Tesis\_Fernandez Failoc.pdf

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>17</b> %	<b>17</b> %	<b>2</b> %	<b>7</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>5</b> %
<b>2</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Privada del Norte</b> Trabajo del estudiante	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Católica de Santa María</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1</b> %
<b>5</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1</b> %
<b>7</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>8</b>	<b>repositorio.upn.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>9</b>	<b>repositorio.uandina.edu.pe</b> Fuente de Internet	

## Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>13</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>14</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>15</b>
<b>Revisión de literatura.....</b>	<b>19</b>
<b>Antecedentes Internacionales.....</b>	<b>19</b>
<b>Antecedentes Nacionales.....</b>	<b>20</b>
<b>Antecedentes Locales .....</b>	<b>22</b>
<b>Asfalto.....</b>	<b>23</b>
<b>Agregados pétreos .....</b>	<b>25</b>
<b>Ensayos a los agregados.....</b>	<b>31</b>
<b>Limaduras metálicas .....</b>	<b>38</b>
<b>Ensayos a la mezcla asfáltica.....</b>	<b>39</b>
<b>Materiales y métodos .....</b>	<b>45</b>
<b>Tipo de investigación.....</b>	<b>45</b>
<b>Hipótesis .....</b>	<b>45</b>
<b>Operación de variables .....</b>	<b>45</b>
<b>Población.....</b>	<b>46</b>
<b>Criterio de Selección .....</b>	<b>46</b>
<b>Proceso de análisis de las limaduras metálicas.....</b>	<b>47</b>
<b>Muestra y muestreo.....</b>	<b>49</b>
<b>Método de ensayo:.....</b>	<b>51</b>

Ensayos a agregados .....	51
Preparación de las muestras.....	59
Parámetros volumétricos.....	65
Ensayo Densidad Bulk .....	66
Ensayo Marshall .....	67
Ensayo Cántabro .....	69
Ensayo de humedad inducida de Lottman .....	70
Ensayo De Tracción Indirecta.....	73
<b>Resultados .....</b>	<b>75</b>
<b>Resultados de caracterización de limaduras metálicas.....</b>	<b>75</b>
<b>Resultados para ensayos de agregados.....</b>	<b>75</b>
<b>Resultados de Diseño de Mezcla .....</b>	<b>85</b>
Ensayo Densidad Bulk .....	85
Peso Unitario.....	85
Ensayo Rice .....	87
Porcentaje de vacíos .....	88
Ensayo Marshall .....	89
Ensayo Cántabro .....	95
Ensayo humedad inducida .....	96
Ensayo tracción indirecta.....	100
<b>Evaluación económica.....</b>	<b>102</b>
<b>Discusión .....</b>	<b>106</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>110</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>112</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>114</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>117</b>

## Lista de Tablas

Tabla N° 1: Cemento asfáltico respecto a la temperatura media anual.....	25
Tabla N° 3: Ensayos para agregado grueso en una MAC .....	26
Tabla N° 4: Ensayos para agregado fino de una MAC .....	27
Tabla N° 5: Gradación para una MAC.....	29
Tabla N° 6: Parámetros acorde al tipo de mezcla .....	30
Tabla N° 7: Vacíos mínimos acorde a métodos de gradación.....	30
Tabla N° 8: Muestra necesaria para el ensayo de Abrasión acorde a gradación.....	32
Tabla N° 9: Cantidad de esferas para ensayo de abrasión acorde a gradación .....	32
Tabla N° 10: Peso mínimo para Peso específico y absorción .....	33
Tabla N° 11: Muestra min. Para ensayo de Sales .....	33
Tabla N° 12: Tamices normalizados para ensayo de Durabilidad al Sulfato.....	36
Tabla N° 13: Peso para ensayo de Durabilidad al Sulfato .....	36
Tabla N° 14: Peso para ensayo de Partículas Chatas y Alargadas .....	37
Tabla N° 15: Requisitos de ensayo rice .....	42
Tabla N° 16: Variable independiente .....	45
Tabla N° 17: Variable dependiente .....	46
Tabla N° 18: N° de Briquetas de la Muestra Patrón para Ensayo Marshall .....	49
Tabla N° 19: N° de Briquetas de la Muestras Modificadas para Ensayo Marshall .....	49
Tabla N° 20: N° de Briquetas para Ensayo Lottman .....	50
Tabla N° 21: N° de Briquetas para Ensayo Tracción Indirecta.....	50
Tabla N° 22: N° de Briquetas para Ensayo Cántabro .....	50
Tabla N° 23: Resumen de número de briquetas .....	50
Tabla N° 24: Propiedades fisicoquímicas de limaduras metálicas.....	75
Tabla N° 25: Granulometría de agregados.....	75
Tabla N° 26: Resultados de Ensayo de Abrasión.....	76
Tabla N° 27: Resultados ensayo Peso específico y absorción en agregado fino .....	77

Tabla N° 28: Resultados ensayo Peso específico y absorción en agregado grueso .....	77
Tabla N° 29: Resultados ensayo Contenido de humedad en agregado fino .....	78
Tabla N° 30: Resultados ensayo Contenido de humedad en agregado grueso .....	78
Tabla N° 31: Resultado ensayo de Sales en agregados.....	79
Tabla N° 32: Resultados de ensayo gravedad específica en agregados .....	79
Tabla N° 33: Resultados de ensayo Equivalente de arena .....	80
Tabla N° 34: Datos de ensayo índice de plasticidad .....	80
Tabla N° 35: Resultados de ensayo índice de plasticidad.....	81
Tabla N° 36: Resultados del ensayo Azul Metileno .....	81
Tabla N° 37: Resultados de ensayo Durabilidad al Sulfato de Magnesio en Agregado Fino..	82
Tabla N° 38: Resultados de ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio en Agregados Gruesos.....	82
Tabla N° 39: Resultados de ensayo Partículas Chatas y Alargadas.....	83
Tabla N° 40: Resultados de ensayo con una cara fracturada .....	83
Tabla N° 41: Resultados de ensayo con más de una cara fracturada .....	84
Tabla N° 47: Resultados de Peso Unitario de briquetas.....	85
Tabla N° 48: Resultados de ensayo Rice .....	87
Tabla N° 49: Resultados del porcentaje de vacíos .....	88
Tabla N° 50: Resultados del Ensayo Marshall para muestras convencionales .....	89
Tabla N° 51: Resultados del Ensayo Marshall para muestras con 75% cemento y 25% limaduras respecto al porcentaje del filler.....	90
Tabla N° 52: Resultados del Ensayo Marshall para muestras con 50% cemento y 50% limaduras respecto al porcentaje del filler.....	91
Tabla N° 53: Resultados del Ensayo Marshall para muestras con 25% cemento y 75% limaduras respecto al porcentaje del filler.....	92
Tabla N° 54: Resultados del Ensayo Marshall para muestras con 0% cemento y 100% limaduras respecto al porcentaje del filler.....	93
Tabla N° 55: Características Marshall de las briquetas.....	94
Tabla N° 56: Resultados del Ensayo Cántabro en briquetas patrón óptimo .....	95

Tabla N° 57: Resultados del Ensayo Cántabro para briquetas experimentales óptimas.....	95
Tabla N° 58: Resultados de Ensayo Bulk para ensayo de Humedad Inducida en briquetas patrón óptimo .....	96
Tabla N° 59: Resultados de Ensayo Bulk para ensayo de Humedad Inducida en briquetas experimentales óptimas .....	97
Tabla N° 60: Resultados del grupo seco de las briquetas patrón óptimas del Ensayo humedad inducida.....	98
Tabla N° 61: Resultados del grupo seco de las briquetas experimentales óptimas del Ensayo humedad inducida .....	98
Tabla N° 62: Resultados del grupo congelamiento-descongelamiento de las briquetas patrón óptimas del Ensayo humedad inducida .....	99
Tabla N° 63: Resultados del grupo congelamiento-descongelamiento de las briquetas experimentales óptimas del Ensayo humedad inducida.....	99
Tabla N° 64: Razón del esfuerzo en ensayo Humedad Inducida .....	100
Tabla N° 65: Resultado de Ensayo Tracción Indirecta para muestras convencionales .....	100
Tabla N° 66: Resultado de Ensayo Tracción Indirecta para muestras experimentales.....	101
Tabla N° 67: Precio de un metro cúbico de mezcla asfáltica convencional .....	102
Tabla N° 68: Precio de un metro cúbico de mezcla asfáltica modificada.....	103
Tabla N° 69: APU de mezcla asfáltica convencional .....	104
Tabla N° 70: APU de mezcla asfáltica modificada.....	105
Tabla N° 71: Comparación de resultados de ensayos de agregados y MC .....	106

## Lista de Diagramas

Diagrama N° 1: Ciclo de la fabricación del hierro.....	39
--	----

## Lista de Imágenes

Imagen N° 1: Localización de obtención de limaduras metálicas .....	47
Imagen N° 2: Corte de materiales metálicos.....	48
Imagen N° 3: Tamizado de limaduras.....	48
Imagen N° 4: Granulometría de los agregados .....	51
Imagen N° 5: Ensayo de Abrasión de agregados .....	52
Imagen N° 6: Peso específico y absorción de agregado grueso.....	53
Imagen N° 7: Ensayo de sales en los agregados .....	54
Imagen N° 8: Gravedad específica y absorción en agregados .....	54
Imagen N° 9: Equipos para ensayo equivalente de arena en agregado fino .....	55
Imagen N° 10: Imagen N°09: Equivalente de arena de agregado fino .....	55
Imagen N° 11: Índice de Plasticidad en agregado fino .....	56
Imagen N° 12: Azul metileno en agregados.....	57
Imagen N° 13: Durabilidad al sulfato de Magnesio en agregados.....	58
Imagen N° 14: Partículas Chatas y Alargadas en agregado grueso .....	58
Imagen N° 15: Caras fracturadas en agregado grueso .....	59
Imagen N° 16: Pesaje de agregados para mezcla.....	60
Imagen N° 17: Agregados en bolsa para mezcla.....	60
Imagen N° 18: Cemento asfáltico en balde.....	61
Imagen N° 19: Agregados vaciados en una tara .....	61
Imagen N° 20: Marcas para base de molde.....	62
Imagen N° 21: Mezclado de briquetas .....	63
Imagen N° 22: Colocación de mezcla en el molde .....	63
Imagen N° 23: Compactación de briquetas.....	64

Imagen N° 24: Desencofrado de briquetas.....	64
Imagen N° 25: Descripción de briquetas hechas.....	65
Imagen N° 26: Medición de altura y diámetro .....	65
Imagen N° 27: Pesaje de una briqueta compactada .....	66
Imagen N° 28: Sumergimiento de una briqueta .....	67
Imagen N° 29: Organización de briquetas compactadas.....	67
Imagen N° 30: Colocación de cabezales en ensayo Marshall.....	68
Imagen N° 31: Toma de datos en ensayo Marshall.....	68
Imagen N° 32: Colocación de la muestra asfáltica para ensayo Cántabro .....	69
Imagen N° 33: Pesaje de las briquetas .....	69
Imagen N° 34: Medición y ensayo bulk para ensayo de humedad inducida.....	70
Imagen N° 35: Grupo seco del ensayo de humedad inducida.....	71
Imagen N° 36: Briquetas sumergidas en agua para entrar en refrigeración.....	71
Imagen N° 37: Briquetas congeladas para ensayo humedad inducida.....	72
Imagen N° 38: Baño maría a 60°C.....	72
Imagen N° 39: Ensayo Lottman .....	73
Imagen N° 40: Briquetas sumergidas para ensayo Tracción Indirecta .....	73
Imagen N° 41: Ensayo tracción indirecta.....	74
Imagen N° 42: Curva granulométrica de los agregados.....	76
Imagen N° 43: Curva de Fluidez.....	81

### **Lista de Anexos**

Anexo N° 1: Validación de ensayos de laboratorio USAT .....	117
Anexo N° 2: Propiedades fisicoquímicas de las limaduras metálicas.....	118
Anexo N° 3: Análisis granulométrico .....	119
Anexo N° 4: Ensayo de Abrasión .....	120
Anexo N° 5: Peso específico y absorción .....	121

Anexo N° 6: Ensayo Contenido de humedad.....	122
Anexo N° 7: Ensayo de Sales en Agregado Grueso.....	123
Anexo N° 8: Ensayo de sales en agregado fino .....	124
Anexo N° 9: Ensayo de gravedad específica .....	125
Anexo N° 10: Ensayo Equivalente de Arena .....	126
Anexo N° 11: Ensayo Índice de plasticidad por el tamiz N°40 .....	127
Anexo N° 12: Ensayo Índice de plasticidad por el tamiz N°200 .....	128
Anexo N° 13: Ensayo Azul Metileno.....	129
Anexo N° 14: Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio en agregado fino .....	130
Anexo N° 15: Ensayo Durabilidad al sulfato de magnesio en agregado grueso.....	131
Anexo N° 16: Resultados de caras rajadas, desmoronadas, fracturadas o astilladas .....	132
Anexo N° 17: Resultados de ensayo de partículas chatas y alargadas.....	133
Anexo N° 18: Ensayo de caras fracturadas .....	134
Anexo N° 19: Resultados de ensayo Marshall para muestras patrón.....	135
Anexo N° 20: Resultados de ensayo Marshall a muestras 75% cemento y 25% limaduras metálicas respecto al peso total del filler .....	138
Anexo N° 21: Resultados Marshall 50%-50% limaduras respecto al porcentaje total del filler .....	141
Anexo N° 22: Resultados de ensayo Marshall 25% cemento-75% limaduras respecto al porcentaje total de filler.....	144
Anexo N° 23: Resultados Marshall para 100% limaduras metálicas como remplazo de filler .....	147
Anexo N° 24: Resultados de ensayo de Cántabro de desgaste .....	150
Anexo N° 25: Resultados humedad inducida para mezcla convencional .....	151
Anexo N° 26: Resultados humedad inducida en mezclas experimentales.....	152
Anexo N° 27: Resultados de ensayo tracción indirecta .....	153

## Resumen

Las carreteras cada vez más son expuestas a condiciones en las cuales sus capacidades no le permiten desenvolverse correctamente lo cual se convierte en un problema que repercute en la seguridad de tanto conductores como peatones, la situación descrita no es ajena a la ciudad de Chiclayo ya que incluso sus vías principales se encuentran deterioradas. Sumado a ello, el uso del acero va en aumento en los últimos años a nivel mundial, su producción se acelera al mismo tiempo que los desperdicios ligados a este, en Perú, los residuos de materiales metálicos alcanzaron el tercer tipo de residuo con mayores cantidades dentro de la categoría de Residuos de Demolición y Construcción con casi cien mil metros cúbicos en el período 2021-2022. Es por ello que la investigación se centra en la introducción de las limaduras metálicas como reemplazo parcial del filler convencional, el cual es 1% de la mezcla asfáltica en caliente (MAC), en proporciones de 100% cemento-0% limaduras metálicas (muestras patrón), 75% cemento-25% limaduras metálicas, 50% cemento-50% limaduras metálicas, 25% cemento-75% limaduras y 0% cemento y 100% limaduras metálicas, a cada una se le evaluó su contenido ideal de cemento asfáltico a través del ensayo Marshall y se determinó que para las muestras patrón fue 5.24% y para las muestras que mejor dieron resultados fueron la del 75% cemento-25% limaduras con un contenido ideal de 5.4%. A estas dos se les evaluó también a través de los ensayos de desgaste Cántabro, tracción indirecta, Lottman y un análisis económico, en la cual las mezclas modificadas mostraron mejor desempeño que las convencionales.

**Palabras clave:** Marshall; Lottman; Cántabro, tracción indirecta; metales; asfalto; filler

### **Abstract**

Roads are increasingly exposed to conditions in which their capacities do not allow them to perform properly, which becomes a problem that affects the safety of both drivers and pedestrians. The situation described is not alien to the city of Chiclayo, since even its main roads are deteriorated. In addition to this, the use of steel has been increasing in recent years worldwide, its production is accelerating at the same time as the waste related to it. In Peru, the waste of metallic materials reached the third type of waste with the largest amounts within the category of Demolition and Construction Waste with almost one hundred thousand cubic meters in the period 2021-2022. That is why the research focuses on the introduction of metal filings as a partial replacement of the conventional filler, which is 1% of the hot mix asphalt (MAC), in proportions of 100% cement-0% metal filings (standard samples), 75% cement-25% metal filings, 50% cement-50% metal filings, 25% cement-75% filings and 0% cement and 100% metal filings, each one was evaluated for its ideal content of asphalt cement through the Marshall test and it was determined that for the standard samples it was 5.24% and the samples that gave the best results were the 75% cement-25% metal filings with an ideal content of 5.4%. These two were also evaluated through the Cantabrian wear test, indirect traction, Lottman and an economic analysis, in which the modified mixes showed better performance than the conventional ones.

**Keywords:** Marshall; Lottman; Cantabro; indirect traction; metals; asphalt; filler

## **Introducción**

Las mezclas asfálticas son un conjunto agregados minerales envueltos por un ligante asfáltico de manera tal que estos queden cubiertos por una capa uniformemente distribuida de asfalto. Las cantidades de cada elemento se reflejan en el comportamiento en las propiedades físicas, mecánicas, entre otras, del producto final y por ende en la del pavimento[1].

Sin embargo, bajo ciertas condiciones estas pueden sufrir agrietamiento, así como deformaciones[2]. Los principales indicadores de que el pavimento no está en buenas condiciones es cuando se presentan rodaderas, como se mencionó antes, agrietamiento, también piel de cocodrilo, así como hundimientos o incluso ondulaciones y hasta baches[3].

Si bien también existen factores como a manera de comportarse de la persona que se encuentra en el volante, el estado en el que se encuentre el vehículo, así como su mantenimiento, el ambiente en el que será colocado la pavimentación como es el tráfico que soporta y las condiciones del clima, también es muy importante tener en cuenta otros factores como son los fenómenos que suceden debido al bajo y al exceso de cantidad de vacíos de aire, mala consolidación de las capas inferiores a la asfáltica, errores por falta de capacitación al personal, y entre las que destaca, diseños de mezcla que no alcanzan a los estándares de calidad establecidos bajo las normas actuales. Lo cual resulta en una consecuencia más crítica debido a que el estado de un pavimento está directamente relacionado a la seguridad de los vehículos que transitan en ella, ya que no solo se debe tomar en cuenta que afecta al vehículo en forma de averías o golpes, sino también a la integridad de los ciudadanos que se encuentren dentro, puesto que podría generar accidentes ya que una vía que se encuentra en tales condiciones ocasiona que independientemente de las habilidades de la persona conduciendo, se pueda perder el control del volante [4].

Una vía en mal estado es un peligro inminente, pues genera una condición insegura que abre paso a conducciones no adecuadas y en últimas consecuencias, en accidentes al vehículo como pinchazos, huecos u roturas de las llantas por la que se puede desviar hacia otros carriles y causar accidentes incluso mayores al colisionar con otros vehículos alterando severamente la salud de peatones, pasajeros y conductores. Dentro de los síntomas ligeros que se puede experimentar en estas situaciones son dolores de cuello y de la espalda, sensación de dolor de cabeza, se puede presentar conmoción cerebral, en el cuerpo se puede presentar hormigueo además de pérdida de la sensibilidad en los brazos u piernas, remarcando que lo más común en accidentes es el efecto de latigazo cervical. Para agregar, las lesiones comunes que se generan en estos casos son traumatismos craneoencefálicos, también se puede presentar lesiones tanto

en la parte del cuello como en la espalda, y por ello se puede producir roturas de huesos o en su defecto lesiones en la zona de la columna vertebral, así como hemorragias internas[5].

Con respecto a esto, es importante tomar nota de la calidad de carreteras que se tienen puesto que a nivel internacional se tiene la misma problemática, además de ver cómo algunos gobiernos se colocan hitos para mejorar. Acorde a un informe por la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que, a nivel global, los fallecimientos debido a accidentes de tráfico se han reducido en 5%, sin embargo, a nivel de continentes, en África por el contrario se aumentó a un 17% a lo largo de los 10 años más recientes y el motivo por el que comenta el líder de seguridad y movilidad de la OMS es el aumento en la cantidad de vehículos pero la misma cantidad y mantenimiento de la infraestructura[6].

Así mismo, la Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE)[7] realizó en el 2018 un informe sobre el estado de conservación y mantenimiento de doce categorías, siendo uno de estos la categoría de carreteras, en la cual el estado de Nevada presentó un aumento de calificación de C- realizada en el 2014 a una C en el año el cual se realizó el estudio, esto se debió a que se han permitido abordar los proyectos de carretera que habían sido abandonados en los últimos cuatro años gracias a las autoridades se habían fijado en mejorar sus vías priorizando los proyectos de pavimentos a nivel presupuestal, y esto se logró a pesar de condiciones desfavorables como la expansión demográfica repentina de Las Vegas que conlleva a más y nuevas infraestructuras en zonas no planificadas, y el clima seco que posee.

A nivel del país de Perú, en el año 2023 sucedieron 87 172 accidentes que dejaron a otros más de 58mil personas heridas y más de 3mil personas que los pavimentos les arrebató la vida, en donde la mayoría de los accidentes se desarrollaron en camionetas o carros y buses que viajan entre provincias, y se estableció que usualmente suelen suceder en horarios entre las 2am y 8am en la mañana y entre las 6pm y 10pm en la tarde, además de suceder gran parte en condiciones de clima que se consideran despejadas[8]. Acorde a las estadísticas, los departamentos que presentaron más accidentes entre el 2021 hasta el 2023 son La libertad, con 53 accidentes; Lima, con 37 accidentes y Puno con 26 accidentes[9]. En el primer semestre del 2021, solo en Lambayeque se registraron 1223 accidentes donde se tiene registrado el fallecimiento de 38 personas y también se tomó nota de que hubieron hasta 915 personas lastimadas[10].

Por ejemplo, en el departamento de Huancavelica debido a las lluvias constantes e intensas que se registran ha generado la aparición de baches lo cual vuelve más difícil el paso de los carros y buses, es más, se han producido accidentes mortales como el ocurrido de la empresa VíaBuss en donde un ómnibus se volcó y llevó a 25 personas al hospital, otro ómnibus de la

empresa Oropeza le sucedió lo mismo y se tiene registro de otros vehículos en donde los conductores atinan a alertar sobre los huecos e ir lento, tomando hasta el doble de tiempo para transportarse[11].

En la zona de Tarapoto, la Defensoría del Pueblo se encargó de realizar una supervisión por las avenidas y calles dando la notificación que muchas de ella se encontraban en mal estado, haciendo hincapié en 16 zonas de la ciudad en específico, incluyendo varias en zonas céntricas, en conjunto con la opinión de los ciudadanos al comentar sobre la recurrencia de accidentes y de las condiciones inseguras que contrae la situación del pavimento, además, se le recomendó al alcalde que se implemente un plan de mejora[12]. La ausencia de mantenimiento no solo repercute en las características de la infraestructura, pero en el contexto social, en donde se vuelve común que personas que transiten la zona suelten basura u realicen actividades no legales[13].

Estos problemas no son nada ajenos a la realidad de Chiclayo, ya que los pavimentos flexibles solo dentro de la ciudad presentan muchas averías y disconformidades a lo que debería ser el estado óptimo de una, lo cual hace que no sea viable una circulación segura y cómoda.

Además de ello, el sector de los metales va cada vez en ascenso pues según los datos del International Stainless Steel Forum[14] la producción solo del acero inoxidable ascendió a 58,289 millones de toneladas mundialmente en el año 2021 siendo esta la cifra más alta desde el 2005, y si bien el acero así mismo como se usa en diferentes áreas y sectores también genera residuos no peligrosos pero en gran cantidad, según los datos de la Unión Europea[15] para el año 2018 al menos el 73% de residuos fueron introducidos nuevamente pero como agregados artificiales tanto en carreteras como producción de cemento pero sin absorber los residuos en total. Además de ello, en Perú según el informe técnico N° 003-2023/DGAA-DGA [16], muestra que en el periodo desde el año 2021 hasta el año 2022 solo en el área de residuos de construcción y demolición (RCD) el tercer tipo de residuo, entre todos los considerados, más generado en volumen fue en metales y hierro con un porcentaje de 9% de un total de casi cien mil metros cúbicos.

Para ello, se plantea la siguiente investigación la cual tenga como objetivo primordial analizar la influencia en las propiedades físicas y mecánicas de las limaduras metálicas cuando se encuentran actuando como relleno mineral en una mezcla asfáltica en caliente. Además de ello, se tiene como objetivos específicos caracterizar la limadura metálica y los agregados; determinar el contenido óptimo de asfalto para un diseño de mezcla convencional y para las mezclas modificadas; caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla convencional y de las mezclas asfálticas modificadas con limaduras metálicas como relleno

mineral; además de tener como objetivo comparar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas; y el último objetivo es comparar económicamente las mezclas convencionales y las mezclas modificadas.

## Revisión de literatura

### Antecedentes Internacionales

Tessema, Wolelaw y Alene[17] comentan en su investigación «Experimental Evaluation of Coffee Husk Ash as a Filler in Hot Mix Asphalt Concrete Productions» en Etiopía que los residuos también se pueden reutilizar en productos nuevos y que esto es necesario pues cada vez más va en aumento los desechos de sectores gigantes como la agricultura o el comercio y aumentan la contaminación ambiental. Etiopía es un país que genera más de cuatro millones de bolsas de café, lo cual lo convierte en el mayor exportador de África, pero a su vez también produce cantidades significativas de desperdicio, en este caso destaca la cáscara de café, la cual el autor menciona que en épocas más recientes también se usa como componente de ladrillos, cerámicos o morteros. Los residuos de café cada vez van en aumento pues se ha transformado a ser el segundo mercado más grande de comercio detrás solo del petróleo. Sumado a ello, el acelerado crecimiento de la población y su transporte genera mayor tráfico de vehículos y mayores cargas que debe sostener un pavimento, para lo cual se necesita nuevos y mejores materiales. Para ello se ensayan muestras con la introducción de cáscaras de café al 5.5%, 6.5%, 7.5% y 8% para distintos porcentajes de contenido de asfalto, a lo cual se obtuvo que según el ensayo Marshall, el mejor resultado en estabilidad, densidad bulk y flujo se obtuvo con 5.57% de contenido de asfalto, 75% de ceniza y 25% de filler convencional respecto al total del filler.

Lizcano y Ramos[18] mencionan que hay una necesidad vial en Colombia pues si bien experimentan un desarrollo en la infraestructura, al mismo tiempo no se generan investigaciones que las soporten y complementen, así mismo, menciona que al menos quinientas mil hectáreas son destinadas para el cultivo de arroz y que la relación de desechos que genera la cascarilla en el proceso de molienda del arroz con la producción representa al menos 18%, lo cual es problemático si se tiene en cuenta que en el año 2017 se produjo 3'048 994 toneladas de arroz. Ante ello, los autores proponen reutilizar lo que se consideraba un residuo industrial como parte del relleno mineral de una mezcla asfáltica y evaluar sus propiedades a través de los ensayos de Marshall, Cántabro y tracción indirecta y organizó tres tipos de mezclas; el primero es una mezcla de control cuyo porcentaje de filler convencional es 6%, en la segunda el filler convencional se reduce a 3% y el restante es la cascarilla, la última muestra es 6% filler de cascarilla. Los resultados mostraron que el remplazo total del filler convencional tiene mejores características que las convencionales, en donde las mezclas tipo

dos destacaron en el flujo y cántabro, y las de tipo tres en estabilidad, índice de rigidez y resistencia a la tensión.

Cabezas y Sandoval[19] comentan que en Colombia los periodos de diseño de un pavimento no se llegan a cumplir por los altos volúmenes de tráfico, los cambios de temperatura, entre otros; así mismo, menciona un problema relacionado a los altos volúmenes de residuos de construcción y demolición(RCD) que se producen y se disponen en escombreras y terrenos sin dueño; es por ello que se plantea un asfalto modificado a manera de propuesta ante esa situación seleccionando ladrillos que eran residuo de la construcción de un colegio como remplazo total del relleno mineral de una mezcla asfáltica correspondiente a una MDC-19, además de la fabricación de uno convencional. El procedimiento fue primero caracterizar a los agregados, seguir el diseño y elaborar muestras con contenidos de asfalto de 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6% y realizar ensayos de estabilidad, flujo y Rice. Los resultados indicaron que ambos comparten similar contenido de asfalto y propiedades en general como en estabilidad y densidad, pero la mezcla modificada mejora la disminución de vacíos.

### **Antecedentes Nacionales**

Quispe[20] cuenta que la ciudad de Cusco se cuenta como de las más importantes a nivel del sector sur del país y que experimenta una gran tasa de crecimiento demográfico y económico, lo cual se traduce en una mayor demanda de vehículos y que se generen problemas en la infraestructura vial dentro de la ciudad por el aumento de carga de estos que previamente no fueron diseñadas para ser cargadas tales como deformaciones permanentes o fallas por fatiga; es por esto que plantea que es necesario perfeccionar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas introduciendo un nuevo material, en este caso, PVC. El objetivo principal es comparar las propiedades mecánicas una mezcla asfáltica convencional con una modificada por el adicionamiento de PVC en porcentajes de 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25% y 1.5% como filler y para determinar el contenido de asfalto se usaron los porcentajes 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7%, para ello primero realizó ensayos a los agregados tanto fino como grueso, al filler y a los residuos de PVC, se plantea un diseño de mezcla MAC, y se analizan las propiedades. Los resultados arrojaron que el que mejor comportamiento tuvo fue con la incorporación de 0.5% de PVC como filler, así como se desempeñan mecánicamente mejor que una mezcla convencional en el área de la estabilidad superando los requerimientos mínimos, sin embargo, en general, el flujo aumentó a medida que la incorporación del PVC incrementaba.

Chavez y Pezo [21] comentan que el paso de tiempo va generando avances automotrices y la necesidad de construir más vías por las cuales andar y con mejores características; siendo el Perú un país con carencia de construcción de caminos acorde al MTC pues aún existe un 22% que se encuentra sin pavimentar; además de ello, analizaron las últimas dos actualizaciones del Manual de Carreteras y en ambos casos no ofrecen ampliar sus normativas y guías a ambientes menores a 6°C a pesar de que las zonas que presentan estas características son zonas que también necesitan carreteras. Ante ello, se colocaron tres tipos de filler siendo el cemento, sílice y cal dentro de las muestras asfálticas con distintos porcentajes de cemento asfáltico para evaluar los parámetros Marshall, resultando un óptimo de C.A. de 5.9%, 5.8% y 6% respectivamente cumpliendo en todos los casos, pero destacando el comportamiento del elemento de la cal; así mismo, se realizó el ensayo de humedad inducida, destacando los resultados del cemento.

Quispe [22] redacta que las carreteras en el país han aumentado considerablemente casi al doble desde los datos registrados en el año 1990 de 36% hasta llegar a 65% pero aún se muestra que falta mucho por construir, así mismo, las propiedades del asfalto ya no son lo suficientemente óptimas como para las nuevas demandas de niveles de tráfico que se ven en la actualidad que se traduce en fallas antes del tiempo de servicio y baja durabilidad, por ello considera oportuno la introducción de nuevas tecnologías que permitan satisfacer las nuevas necesidades y se plantea la sustitución parcial de 1.5%, de 3% y de 4.5% del peso total del cemento asfáltico por poliestireno expandido, y se evalúan según los parámetros Marshall, del ensayo Cántabro, tracción indirecta y resistencia simple; el cual los resultados obtuvieron que el remplazo con 3.4% del poliestireno expandido no solo influye directamente en las propiedades a comparación de una convencional, pero que incluso las mejora.

Puente [23] menciona que la razón de la investigación es la necesidad de mejorar el desenvolvimiento estructural y a su vez la durabilidad de estas mezclas de tal manera que no varíe significativamente su costo de elaboración para que pueda rendir en el tiempo de vida útil de la estructura, por ello, se estudió el reemplazo parcial de 1%, de 3%, de 5% y de 7% de escamas de tereftalato de polietileno reciclado con respecto al agregado fino a través de la metodología Marshall para ser comparadas en aspectos como la estabilidad, rigidez, flujo, ensayo de desgaste y costo siguiendo las normas establecidas en el MC y MTC. Se realizó cien muestras para tanto las convencionales como las modificadas, resultando con mejores resultados técnicos y económicos el de 1% de las escamas.

## Antecedentes Locales

Iberico Vigo[24] menciona en su investigación que las vías terciarias y secundarias se van deteriorando cada vez más ya sea por el clima mismo o por condiciones geológicas, pero la razón que también se debe mencionar además de lo anterior, es el uso indebido de materiales introducidos en la mezcla asfáltica que llegan a deteriorar más la capa de rodadura; lo cual es un problema de vital importancia pues, como menciona, la expansión de una ciudad va acompañada de mejores vías que resistan mejor a la carga de tránsito, para lo cual, se plantea un nuevo diseño de mezclas de asfalto que incluya la adición de fibras de acero en porcentajes de 0%, 5%, 10%, y 12% y se evaluó a través del ensayo Marshall. Los resultados obtenidos mostraron que el mejor porcentaje de fibras con respecto al peso de la mezcla fue el de 5% con un óptimo contenido de asfalto de 5.5% porque mejoró la relación estabilidad/flujo en relación con la mezcla convencional.

Salvador [25] comenta que el número de residuos generados por el sector de la construcción es bastante grande, y que es importante considerarlos como una opción de reincorporación con el fin de que se promueva la sostenibilidad dentro del sector y así indirectamente, disminuir el uso de materiales agotables y reducir los residuos que se generan y contaminan el área en que se encuentren puesto que son difícilmente capaces de ser eliminados por tener materiales que podrían ser peligrosos u pesados; y este es un problema mundial que tienen también países como China, la unión europea y Estados Unidos por mencionar a algunos. Ese problema sumado al incremento de la importancia del sector en el cual se desarrollan las carreteras y que cada vez más las condiciones cambian resultan en deterioros y disminución en la calidad esperada. Por ello se plantea a la mezcla convencional, adicionarle 1,3,5 y 7% de filler de RCD para evaluar propiedades Marshall, lo que resultó en que el 1% sea el porcentaje que más se parezca a la convencional, pero el 5% sea el que presenta mejor resistencia.

Larrea [26] menciona que la contaminación ambiental está llegando a grandes cantidades conforme pasa el tiempo, ya sea por innumerables procesos industriales y por la magnitud de desperdicio que genera, por ello es indispensable saber cómo reaprovecharlos, por lo cual el autor plantea una investigación basada en utilizar la cascarilla del elemento oryza sativa, su ceniza, a manera de filler dentro de las mezclas asfálticas tipo MAC-2 y acorde a la norma peruana con el fin de contribuir a la no contaminación, a la mejora económica y técnica a través de la adición de la sustancia en 0.25%, en 0.5%, en 0.75% y 1% respecto al peso en filler para

ser evaluados a través de la metodología y parámetros Marshall para ser evaluados para tráficos medios, bajos y altos; de lo cual los resultados obtenidos se comprueba que la adición de 0.75% para los tres tipos de tránsito presenta mejorías sobre las que no tienen añadidos, es decir, las que son convencionales.

### ***Bases teóricas***

Las mezclas asfálticas están conformadas por un ligante hidrocarbonato que forma una película continua sobre una combinación de agregados finos y gruesos, cada uno de estos componentes son esenciales para el desarrollo correcto de las propiedades finales del producto, siendo los más influyentes las características del relleno mineral y el ligante asfáltico, pues repercute en la calidad y costo final. [27]

- 1) Los materiales típicos de una mezcla asfáltica son:

### **Asfalto**

Es un material de aspecto bituminoso que se compone principalmente por resinas, aceites y asfáltenos que tiene una forma semisólida o sólida a temperatura ambiente, pero al ser calentada a altas temperaturas se vuelve líquida. [28]

Sus características principales son: Consistencia, es decir, la dureza que tiene el material; la durabilidad, la capacidad del material para conservar sus propiedades a lo largo del tiempo y el impacto de los agentes de envejecimiento; viscosidad, propiedad que se opone a su flujo cuando se le coloca una fuerza; la elasticidad, propiedad para volver a la forma que tenía después de ser aplicada una carga; susceptibilidad térmica, debido a que el asfalto es un componente que varía según la temperatura a la que está expuesto; pureza en su composición química; y seguridad, por su propiedad de ser manejado sin peligro a la inflamación. [28]

Existen diferentes tipos de asfalto, destacando los siguientes:

- Emulsiones asfálticas

Su efecto es de un estabilizador de capas tipo base, se dispersa a través de micro dispersiones de asfalto cuando está en contacto con el agua y permite una mayor

trabajabilidad pues se utiliza en temperaturas ambiente, es de costo reducido para mantenimiento y construcción de caminos carrozables, trochas, etc. [29]

- Asfalto líquido

El asfalto líquido es un derivado del petróleo viscoso que se usa para recubrir superficies que han sido dañadas para impermeabilizar o como anticorrosivo, así mismo, tiene buena capacidad de adherencia y flexibilidad[30]. Los más comunes son:

✓ Asfalto líquido RC-250

Llamado también «Asfalto líquido de curado rápido» (RC), es un producto a temperaturas ambiente que se aplica en frío, y sus resultados dependen directamente del tipo de asfalto, componentes químicos y volatilidad del solvente. Se usa para lechadas asfálticas, estabilizar sub bases y bases granulares de pavimentos en general, imprimación, y la elaboración de mezclas asfálticas. [29]

✓ Asfalto líquido MC-30 y MC-70

Llamado también «Asfalto líquido de curado medio», su aplicación es en frío a temperatura ambiente, y su destilación es lo que determina el tiempo del curado. [29]

- Cemento asfáltico

Son productos que se clasifican según la consistencia que tengan en su grado de penetración o viscosidad medido a través del ensayo de penetración que en Perú se realiza a una temperatura de 25 grados centígrados. Tiene su mayor uso en la elaboración de carreteras, caminos, o vías de acceso en general para brindar propiedades de durabilidad, flexibilidad e impermeabilidad al pavimento ante agentes como el alto tráfico, el clima, temperatura, ambiente, entre otros; y los tipos de asfalto más conocidos son los cementos asfálticos 60/70, 85/100 y 120/150.[31] Para la elección de asfalto el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) [32]indica:

*Tabla N° 1: Cemento asfáltico respecto a la temperatura media anual*

Promedio de T° en el año			
24°C o más	24°C-14°C	15°C- 5°C	Menos de 5°C
60-70 o 40-50 o modificado	60-70	85-100 o 120-150	Asfalto modificado

*Fuente: MTC*

### **Agregados pétreos**

Conocidos como agregados minerales, engloban a partículas tanto triturados como naturales para la elaboración en este caso de mezclas asfálticas, pero también para concretos hidráulicos, para estabilizaciones y construcción de capas inferiores a la capa de rodadura de un pavimento[30].

Los agregados son una parte importante dentro de las mezclas asfálticas pues representan casi la totalidad del peso de la mezcla con el 90% a 95%, por lo cual es necesario que se realicen ensayos para comprobar que cumplan los requerimientos mínimos de calidad[33].

Están compuestos por:

- Agregado grueso

Se refieren a las partículas con diámetro mayor a 4.75mm, es decir, es el material que queda atrapado en el tamiz N°4 y son conocidas como gravas. Pueden ser obtenidos de manera natural o por plantas de trituración, pero deben ser limpios, durables y resistentes, exentos de tierra, polvo o sustancias orgánicas. Los requisitos mínimos para los agregados gruesos acorde al MTC [32]son:

Tabla N° 2: Ensayos para agregado grueso en una MAC

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
<i>Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)</i>	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
<i>Abrasión Los Ángeles</i>	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
<i>Adherencia</i>	MTC E 5017	+95	+95
<i>Índice de Durabilidad</i>	MTC E 214	35% min	35% min
<i>Partículas chatas y alargadas</i>	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
<i>Caras fracturadas</i>	MTC E 210	85/50	90/70
<i>Sales solubles totales</i>	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
<i>Absorción</i>	MTC E 206	1% máx.	1% máx.

Fuente: MTC

- Agregado fino

Se refieren a las partículas con diámetro entre 4.75mm y 75um, es decir, es el material que queda retenido entre el tamiz N°4 y el N°200, y son conocidas como arenas. Pueden ser arenas por trituración o una combinación de estas con arena natural, previa aprobación. Deben estar en condiciones de limpieza y ser de superficie angular y rugosa. Los requisitos mínimos para los agregados finos según el MTC[32] son:

Tabla N° 3: Ensayos para agregado fino de una MAC

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de Metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 min	35 min
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Adsorción	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente: MTC

- Relleno mineral

Se refieren a las partículas con diámetros que pasen el tamiz N°200, y puede ser el resultado de trituración de agregados minerales o productos comerciales tales como el cemento portland, ceniza, polvo de roca o escoria, cal hidratada, etc. Se emplea como relleno de vacíos, así como para espesar el asfalto y mejorar la adherencia al par agregado-asfalto, y su cantidad depende del diseño de mezcla. [32]

Tipos de filler:

- ✓ Cemento Portland: Es un polvo compuesto por una combinación de arcilla y caliza de fraguado lento pero resistente. [34]
- ✓ Cal hidratada: Es un producto que se compone por agua y por óxido de calcio y se usa en muchos sectores, como el de alimentos, construcción, metalurgia, entre otros. [34]

2) Las mezclas asfálticas a su vez pueden dividirse dentro de diferentes clasificaciones.

- Por la temperatura colocada en la obra

- ✓ Mezcla asfáltica en caliente: se calientan los agregados y asfaltos a temperaturas alrededor de los 150 grados centígrados para que el ligante tenga la viscosidad necesaria y se agrupen en una masa, luego se lleva a obra sin perder la temperatura de mezcla pues en caso de que no, ocasionaría que no podría extenderse o compactarse de manera adecuada. [27]
- ✓ Mezcla asfáltica en frío: La colocación en obra se hace a temperatura ambiente pues el ligante es una emulsión asfáltica. [27]
  
- Por la proporción de vacíos[27]
  - ✓  $X < 6\%$ : Significa es una mezclas cerradas o densas
  - ✓  $6\% < X < 10\%$ : Mezclas semicerradas o es una mezcla semidensa
  - ✓  $12\% < X$ : Mezclas abiertas
  - ✓  $20 < X$ : Mezclas porosas o drenantes
  
- Por la granulometría [27]
  - ✓ Mezclas discontinuas: Los agregados de piedra en la zona de tamaño de grano tienen un tamaño muy limitado.
  - ✓ Mezclas continuas: Piedras de diferentes tamaños muy distribuidas en el eje principal de granulometría.
  
- 3) Así mismo, se deben tener ciertas consideraciones para elección y la fabricación de mezclas asfálticas acorde a la fase en la que se encuentra, como las siguientes:
  - Estudios previos: Se necesita conocer datos del ambiente al que se va a exponer la mezcla asfáltica tales como el tipo de infraestructura en el que va a estar operando (aeropuerto, carretera, etc.), estudios de tráfico, características de las capas subyacentes, la climatología (ambiente tropical, frío, etc.). [27]
  - En base a los estudios previos, se determinan las características que debe de tener la mezcla, tales como la resistencia a las deformaciones, flexibilidades, etc. [27]
  - Selección del tipo de mezcla que sea más congruente a las necesidades planteadas, tanto económicas como técnicas. [27]
  - Selección de agregados pétreos y relleno mineral de óptima calidad que cumplan las especificaciones técnicas y económicas del proyecto. [27]
  - Selección del tipo de ligante acorde al diseño de mezcla planteado que cumpla los requerimientos mínimos de calidad y sea óptimo económicamente. [27]

- Selección del contenido óptimo del ligante a través de un proceso de distintas combinaciones cuyos agregados cumplan una granulometría en específico. [27]

4) Las mezclas de asfalto se acoplan a una de las siguientes gradaciones de los agregados minerales.

- Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)

La gradación en el caso del tipo MAC, acorde al MTC[32] corresponde a la siguiente tabla.

*Tabla N° 4: Gradación para una MAC*

<i>Tamiz</i>	<i>Partículas que pasan</i>		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
<i>25,0 mm (1")</i>	100		
<i>19,0 mm (3/4")</i>	80 a 100	100	
<i>12.5mm (1/2")</i>	67 a 85	80 a 100	
<i>9,5mm(3/8")</i>	60 a 77	70 a 88	100
<i>4.75mm(N°4)</i>	43 a 54	51 a 68	65 a 87
<i>2,00mm (N°10)</i>	29 a 45	38 a 52	43 a 61
<i>425um (N°40)</i>	14 a 25	17 a 28	16 a 29
<i>180um (N°80)</i>	8 a 17	8 a 17	9 a 19
<i>75um (N°200)</i>	4 a 8	4 a 8	5 a 10

*Fuente: MTC*

- 5) Se plantea los requisitos mínimos para combinación de concreto bituminoso en base al parámetros por el diseño Marshall y la clase de mezcla que se hace, así como el %de vacíos mínimos en el agregado mineral.[32]

Tabla N° 5: Parámetros acorde al tipo de mezcla

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8.15 kN	5.44 kN	4.52 kN
3. Flujo 0.01" (0.25mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver tabla N°7		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)	2.1 75	2.1 75	1.4 75
Relación Polvo – Asfalto	0.6-1.3	0.6-1.3	0.6-1.3
Relación Estabilidad/flujo/kg/cm)	1700-4000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 min		

Fuente: MTC

Así mismo, se plantea los vacíos mín. en el agregado acorde al método de gradación escogido.

Tabla N° 6: Vacíos mínimos acorde a métodos de gradación

Tamiz	%Vacíos mín. en agregado	
	Marshall	Superpave
2.36mm (N°8)	21	-
4.75mm (N°4)	18	-
9.50mm (3/8")	16	15
12.5mm (1/2")	15	14

19.0mm (3/4")	14	13
25.0mm (1")	13	12
37.5mm (1 1/2")	12	11
50.0mm (2")	11.5	10.5

Fuente: MTC

## Ensayos a los agregados

### 1) Granulometría

Se le dice granulometría al tomar las medidas y gradar los agregados para caracterizarlos de manera correcta. El procedimiento para los agregados gruesos está normado por la MTC y describe lo siguiente:[35]

- Extracción y cuarteo del agregado: Se selecciona una muestra de la mezcla dividiendo a la totalidad de agregados gruesos en cuatro partes iguales, lo cual se llama cuarteo
- Lavado del agregado: Acorde a la norma, el agregado debe estar libre de cualquier impureza, por lo tanto, necesita ser lavado.
- Secado del agregado: La muestra húmeda se coloca en un horno eléctrico por 24 horas a 110°C.
- Prueba de tamizado: Se retira el agregado del horno y se procede a hacerlos pasar por los tamices o mallas de forma descendente, se pesa la cantidad de agregado que ha sido retenido en cada tamiz a través de una balanza y se anotan las características.

En el caso de los agregados de partícula fina el procedimiento es el mismo, pero con los agregados finos. [35]

### 2) Abrasión de Los Ángeles

El propósito del ensayo es definir la resistencia de los agregados gruesos a la degradación a través de la Máquina de Los Ángeles. [35]

El procedimiento consiste en lavar y colocar a un horno a 110°C una muestra reducida acorde a la gradación que corresponde según el TMN del agregado. [35]

Las gradaciones de las muestras para este ensayo son las siguientes:

Tabla N° 7: Muestra necesaria para el ensayo de Abrasión acorde a gradación

Medida del tamiz		Pesaje min de muestra g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	1250 ± 25			
25.0 mm (1")	19.0mm (3/4")	1250 ± 25			
19.0mm (3/4")	12.5mm (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10		
12.5mm (1/2")	9.5mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5mm (3/8")	6.3mm (1/4")			2500 ± 10	
6.3mm (1/4")	4.75mm (N°4)			2500 ± 10	
4.75mm (N°4)	2.36mm (N°8)				5000
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: MTC

Y la cantidad de esferas a colocar sale de la selección de la clasificación de gradación y se pueden ver en la siguiente tabla: [35]

Tabla N° 8: Cantidad de esferas para ensayo de abrasión acorde a gradación

Gradación	Número de Esferas	Masa mínima (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: MTC

Luego recombinar para colocarla en la máquina a 30-33rpm por 500 revoluciones, después de ello descargar ese material y pasarlo por el tamiz N°12 para ser lavado, secado en el horno 24horas y pesado. [35]

### 3) Peso específico y absorción de agregado grueso

El ensayo empieza con la selección de la muestra en la cual se debe descargar todo aquel que pase por el tamiz N°04 por un tamizado con la muestra en seco y se lava el material para evitar que contenga polvo o impurezas. [35]

El peso mínimo de este se presenta en la siguiente tabla:

Tabla N° 9: Peso mínimo para Peso específico y absorción

<i>TMN mm (pul)</i>	<i>Peso Mín. kg (lb)</i>
12.5 (1/2) o menos	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 1/2)	5 (11)
50.0 (2)	8 (18)
63.0 (2 1/2)	12 (26)
75.0 (3)	18 (40)
90.0 (3 1/2)	25 (55)
100.0 (4)	40 (88)
112.0 (4 1/2)	50 (110)
125.0 (5)	75 (165)
150.0 (6)	125 (276)

Fuente: MTC

Se seca la muestra y se enfría e inmediatamente se sumerge el agregado en un estanque de agua por otras 24hr, pasado estas horas se remueve sobre una superficie y se pasa un paño absorbente hasta que la película de agua sea no visible y se pesa. [35]

Luego de haber pesado, la muestra se coloca en la cesta de alambre y se establece su peso en agua teniendo precaución de mover el recipiente para evitar la liberación del aire atrapado y secar hasta el peso constante para posteriormente secarlo. [35]

#### 4) Sales

El propósito del ensayo es hallar el contenido de sulfatos y cloruros de los agregados.

El ensayo comienza con la selección del material, la cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 10: Muestra min. Para ensayo de Sales

<i>Agregado</i>	<i>Cantidad mín. (g)</i>	<i>Aforo mín. (mL)</i>
Grava 50-20 mm	1000	500
Grava 20-5 mm	500	500
Arena 20mm	100	500

*Fuente: MTC*

Se seca la cantidad seleccionada en un horno y se coloca en una tara con agua destilada de manera que cubra 3cm sobre la muestra y dejar que suba la temperatura hasta la ebullición. Mover esta agua por 1 minuto de manera que se complete cuatro agitaciones en 10 minutos.

Dejar reposar por al menos 10min para que el agua sea transparente y mover el líquido a otro envase en 2 tubos de ensayo. Esto se lleva a un matraz y se enrasa con agua destilada para tomar agua de un volumen de 50ml o 100ml y llevar al horno y pesar lo resultante. [35]

5) Gravedad Específica y absorción en agregado fino

El ensayo comienza con obtener una muestra de 1kilo previamente cuarteado y secarlo en un horno y remojar con agua dejándolo reposar 24horas. Luego se decanta el agua y separar el material en una superficie plana expuesto a un ambiente tibio para su secado uniforme. Con el molde en forma cónica se coloca el agregado y se golpea en 25 ocasiones con la varilla para apisonamiento y levantar el recipiente de tal manera que se derrumbe, en caso de que no, volver a secar. [35]

Del material preparado, se selecciona 500gr y se coloca en un frasco y se llena con agua destilada hasta alcanzar la línea de 500cm<sup>3</sup>, se agita el frasco con el fin de eliminar las burbujas de aire. Luego se establece la temperatura del frasco y su contenido, se llena el frasco hasta el límite que estuvo calibrada y se determina el peso fina del frasco y el material se seca en la estufa a peso constante, enfriar y pesar. [35]

6) Equivalente de Arena

El propósito del ensayo es señalar los porcentajes relativos de materiales como los suelos arcillosos, el material fino y el polvo, en este caso, en los agregados. [35]

El ensayo comienza con la selección de 1500gr de material que atraviese el tamiz N°04 en donde debe estar bien sacudido el material y caiga todo polvo adherido a los materiales.

Colocar el material humedecido en una probeta graduada y verter una combinación de agua totalmente destilada con cloruro de calcio hasta que llegue a una marca y se agita vigorosamente 90 ciclos en aproximadamente 30segundos y se espera 15 minutos para volver a agitar y dejar reposar 30min para tomar la medida de hasta dónde llega el

material; con el apoyo de un elemento, se aplasta el material y se hace la lectura del agregado que queda aplastado. [35]

#### 7) Índice de Plasticidad

El procedimiento del ensayo comienza con seleccionar 150gr a 200gr de material que atraviese el tamiz N°40 y N°200 y se satura el material con agua destilada por 24hr se deja el material tapado, luego de ello se coloca una parte de este en la copa de Casa Grande de manera que esta se esparza hasta una profundidad de 10mm en su punto más lejano.

Con un acanalador se divide la muestra haciendo una ranura exactamente a la mitad y mover el indicador de velocidad desde 1.9 a 2.1 golpes por cada segundo con el fin de que las dos mitades vuelvan a estar en reunión en la parte más profunda, se anota el número de golpes para que esto sucediera. Con una espátula se toma de una tajada un pedazo del material y enviar al horno. El procedimiento se repite, pero en la segunda vez se coloca más agua destilada al material húmedo restante para disminuir su cantidad de golpes necesarios para que se junten más rápido. Así mismo, para el límite plástico, se elige una porción del material y se forman unos elipsoides que se ruedan con los dedos en un área limpia y lisa. Se pesa, se envía al horno y se vuelve a pesar. [35]

#### 8) Azul Metileno

Se describe que el procedimiento del ensayo comienza con seleccionar 5gr de agregado fino que pasa el tamiz N°200 y se introducen 250ml de agua destilada, con ayuda del compuesto Azul Metileno y de una jeringa se va introduciendo de a pocos y de gota en gota, mezclando y colocando esa mezcla en papel filtro 42 de tal manera que tiña de azul.[36]

#### 9) Durabilidad al Sulfato de Magnesio

El propósito es el de establecer y valorizar la resistencia de los mismos agregados cuando se encuentran a la desintegración por soluciones que están saturadas, en este caso de sulfato de magnesio. Da información sobre la alterabilidad cuando no se tiene información que es adecuada acerca del desenvolvimiento del material cuando se ve en situaciones reales. [35]

El procedimiento comienza con pasar el agregado fino por los siguientes tamices de manera tal que por al menos 100gr del material queden retenidos en cada uno de estos. [35]

*Tabla N° 11: Tamices normalizados para ensayo de Durabilidad al Sulfato*

<i>Tamiz-pasa</i>	<i>Tamiz- retenido</i>
600um (N°30)	300um (N°50)
1.18mm (N°16)	600um (N°30)
2.36mm (N°8)	1.18mm (N°16)
4.75mm (N°4)	2.36mm (N°8)
9.50mm (3/8")	4.75mm (N°4)

*Fuente: MTC*

Y para el agregado grueso es el mismo procedimiento que la del fino, pero con las siguientes especificaciones: [35]

*Tabla N° 12: Peso para ensayo de Durabilidad al Sulfato*

<b>Tamaño (tamices normalizados de abertura cuadrada)</b>	<b>Peso en g</b>
<b>Consistiendo de:</b>	
9.5mm (3/8") a 4.75mm (N°4)	300 ± 5
19.0mm (3/4") a 9.5mm (3/8")	1000 ± 10
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 12.5mm (1/2") a 9.5mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19.0mm (3/4) a 12.5mm (1/2")	670 ± 10
37.5mm (1 1/2") a 19.0mm (3/4")	1500 ± 50

*Fuente: MTC*

El material seleccionado se lava sobre un tamiz normalizado, se seca en horno y cada grupo de agregados pasados por los diferentes tamices se separan. Luego de ser secados, se le colocará una solución de agua destilada con sulfato de magnesio durante no menos de 16horas ni más de 18hr hasta que cubra el agregado a una altura de no menos de centímetro y medio y se cubren los envases para evitar la evaporación y la colocación de elementos ajenos. Luego de esto, se saca el agregado, se deja fluir por 15minutos y se coloca al horno a secar a 105° hasta tener un peso constante en dos pesadas

consecutivas, se saca y se deja enfriar. Este procedimiento se repite el número de ciclos requeridos. [35]

Para terminar, se lava cada grupo de materiales por separado para limpiar el sulfato de magnesio y a través del compuesto y la reacción con el Cloruro de Bario se podrá verificar si el lavado efectivamente está completamente sin sales. [35]

Eliminado el sulfato de magnesio, se seca hasta peso constante nuevamente, se repite el proceso de tamizado con el mismo tamiz con el que estaba antes retenido y se pesa el material que queda atrapado. [35]

#### 10) Partículas Chatas y Alargadas

El ensayo comienza con la determinación del peso del agregado acorde al TMN que se tiene.

*Tabla N° 13: Peso para ensayo de Partículas Chatas y Alargadas*

<i>TMN (pul)</i>	<i>Peso min. kg (lb)</i>
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 ½)	15 (33)
50.0 (2)	20 (44)
63.0 (2 ½)	35 (77)
75.0 (3)	60 (130)
90.0 (3 ½)	100 (220)
100.0 (4)	150 (330)
112.0 (4 ½)	200 (440)
125.0 (5)	300 (660)
150.0 (6)	500 (1100)

*Fuente: MTC*

Si se realiza este ensayo en base a una definición por peso, la muestra se deshumece en el horno a peso constante, pero si es acorde al n° de partículas, el escurrimiento no es estrictamente necesario. Se tamiza al tamiz N°4 hasta tener aproximadamente 100

partículas y a cada una de ellas se le coloca en tres grandes categorías: alargadas, chatas, o ni chatas ni alargadas. Y se pasa por un calibre para determinar a cuál grupo pertenece. [35]

#### 11) Caras Fracturadas

El procedimiento del ensayo consiste en lavar la muestra sobre el tamiz N°04 y determinar el peso de la muestra. Dentro de este, se separan en dos grandes grupos: las partículas que se encuentran fracturadas en base a un número de caras fracturadas y un segundo grupo donde no reúnen este criterio. Para determinar el número de caras fracturadas se esparce el material y se analiza cada una en base a que, si la cara representa al menos 1/4 del área transversal de la piedra, se considera que está fracturada y se pesan estos dos grupos. [35]

### **Limaduras metálicas**

El material es de dimensiones pequeñas de un color oscuro brillante y toma la apariencia de un polvo; es proveniente de los residuos del sector de la siderurgia, así mismo, el uso de los residuos metálicos se suelen ir a recolectores en el mejor caso, o pueden usarse como elemento para demostrar el electromagnetismo por los campos que posee en escuelas.[37]

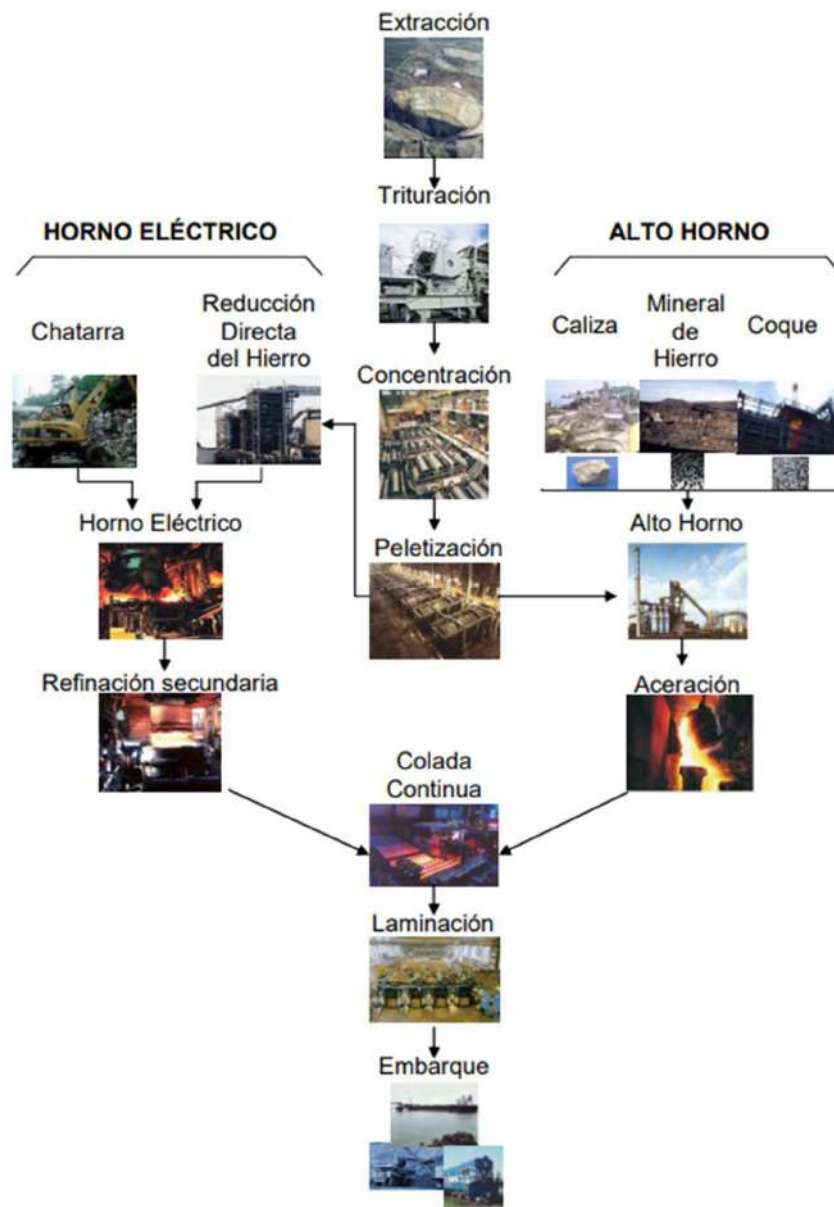
Las limaduras metálicas deben tratarse o conceptualizarse como otra manera de poseer metal en el ámbito en el cual se apliquen, sea a manera de material pequeño para espacios reducidos, a superficies más grandes.[38]

Sus propiedades magnéticas se pueden hacer notorias con la ayuda de un imán, debido a que este tiene dos polos, el norte que apunta hacia ese sentido y el sur, de la misma manera, mostrando el campo magnético que generan. Mejor dicho, las limaduras muestran las líneas de campo magnético.[39]

Se dice que son limaduras metálicas porque metales puros como el hierro no se encuentran como tal comercialmente, pero sí aleados a otros elementos como el carbono además de otros metales conocidos como el manganeso, el níquel, el cromo, entre otros debido a que como elemento puro son de fácil reactividad química y se corroe. Además de colocar metales puros como el hierro en aleaciones, se puede sumergir el elemento en ácido nítrico concentrado con el fin de que forme una fina capa de óxido que lo vuelve pasivo a reaccionar con ácidos u otras sustancias.[40]

Su fabricación se muestra en el siguiente diagrama: [40]

Diagrama N° 1: Ciclo de la fabricación del hierro



Fuente: Coordinación General de Minería

## Ensayos a la mezcla asfáltica

### 1) Ensayo Marshall

El ensayo marca en principal a dos características: La estabilidad y el flujo. La estabilidad se refiere a la resistencia máxima a deformación frente a una carga uniforme,

y el flujo hace referencia a la deformación durante este ensayo. Si este último sobrepasa el límite de encima, la muestra se entiende como plástica; por el contrario, si el valor se encuentra por debajo del límite de abajo, se entiende demasiado rígido. En el diseño de mezcla es necesario considerar un mínimo de tres especímenes para cada incremento del contenido del ligante. [35]

#### 1.1.Preparación de la mezcla:

Los agregados se deben colocar en el horno a 105 u 110 grados Centígrados, así como el cemento asfáltico se debe calentar para lograr una viscosidad de 0.17 Pa.s para mezclado y 0.28 Pa.s para compactado, lo cual es alrededor de 135 a 150 grados Centígrados. [35]

Las briquetas se pueden preparar individualmente o en recipientes que permitan material para tres o cuatro briquetas. El proceso de la preparación es combinar estos dos elementos previamente pesados y mezclar a mano para certificar la uniformidad con especial cuidado de no perder material. [35]

Consecuentemente se procede a la compactación. El molde debe ser limpiado y se calientan entre 90 grados y 150 grados, en el fondo se coloca un círculo de papel del tamaño exacto del molde escogido y se coloca la mezcla chuseando fuertemente 15 veces en el perímetro y 10 veces en el interior, terminando este proceso, se coloca otro círculo de papel y se lleva al pedestal de compactación y con el martillo para la compactación se aplica el número de golpes deseado, se voltea el molde y se lleva el mismo procedimiento de golpes. Finalmente se lleva a una superficie plana para que puedan enfriar. [35]

#### 1.2.Ensayo de flujo y estabilidad

Primero se determina el peso específico Bulk y parámetros volumétricos como mediciones a las muestras. Luego se sumergen en agua por 30 minutos o 40 minutos, mantenerlo a 60 grados Centígrados y luego llevarlos a un baño de aire por 120 o 130 minutos. Se limpian y se colocan en el equipo especializado completamente, la carga a la briqueta se aplica a razón de 50mm/min hasta que la misma carga vaya disminuyendo, se registra el valor más alto encontrado y se registra la lectura que se ve en el dial en el momento en que empezó a decrecer. [35]

## 2) Parámetros Volumétricos

Medir el ancho de las muestras acuerdo a MTC 507[35] el cual menciona que se deben tomar al menos cuatro mediciones para calcular un promedio tanto en ancho como en alto.

Así mismo, para la determinación del peso de una muestra, el equipo debe estar correctamente calibrado.

### 3) Peso Específico Bulk

Es la masa de un volumen, incluyendo las partículas tanto como del agregado como el del volumen que tienen los vacíos entre las muestras estudiadas. Así como es el vacío que poseen los agregados entre sus partículas en una zona no ocupada por mineral rígido[41].

El objetivo del ensayo es poder calcular con certeza el peso específico aparente además del peso unitario para el cual se usa balanzas y baño con agua para inmersiones. Dentro de este, el procedimiento divide para tres clases de muestras: las que contienen cierta humedad, las que contienen humedad y solventes, y las que se encuentran completamente secas, el cual el caso a tratar es el último. En este caso se pesa en el aire a la muestra, se pesa cuando se encuentra sumergida en baño con agua pasados de tres a cinco minutos a una temperatura de 25 grados centígrados, se retira y se seca superficialmente para determinar su peso en condiciones de saturación con superficie seca. Se sigue la siguiente fórmula:[35]

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B - C}$$

A= Peso en seco, g

B-C= Peso respecto al volumen con respecto al agua a 25°C

B= Peso saturado seco de la briqueta, g

C= Peso en el agua

### 4) Ensayo Rice

La finalidad del ensayo es definir la gravedad y la densidad teórica máxima de las muestras asfálticas que no se encuentren compactadas, se necesita un equipo que trabaje al vacío y balanzas.

El procedimiento es recolectar cierta cantidad acorde al TM de las partículas de mayor dimensión del agregado:

*Tabla N° 14: Requisitos de ensayo rice*

<i>TMN del agregado mm('')</i>	<i>Pesaje mínimo de la muestra (kilos)</i>
50 (2)	6
37.5 (1 ½)	4
25 (1)	2.5
19 (¾)	2
12.5 (1/2)	1.5
9.5 (3/8)	1
4.75 (N°4)	0.5

*Fuente: MTC*

Con la muestra indicada, se coloca en un picnómetro con agua y se aplica un vacío parcial de 30mm de Hg por cinco minutos y se vuelve a pesar.

Además de ello, se pesa el recipiente solo y el recipiente con agua.[42]

#### 5) Ensayo Cántabro De Pérdida Por El Desgaste

El propósito del ensayo es definir la pérdida que posee por medio del desgaste a través del uso de la máquina de Los Ángeles, y da a conocer la cohesión y disgregación de la muestra ante la exposición de abrasión y succión por tráfico.

El ensayo tiene como requisitos que se cuenten con cuatro muestras por cada variante de ligante, y a cada una de ellas se introduce dentro del tambor de la máquina antes mencionada sin cargas abrasivas de las boas y hacer girar por 300 vueltas para pesar nuevamente [32]

#### 6) Ensayo De Resistencia Al Daño Inducido Por Humedad

El objetivo del ensayo trabajar con muestras que experimentan procesos de saturación de agua y que se les condiciona a ciclos acelerados de congelamiento y deshielo para predecir la sensibilidad que tendrán al desprendimiento.

El ensayo necesita seis muestras en total para que se formen dos grupos de 3 muestras: el conjunto de muestras secas y el conjunto de muestras que serán expuesto a los ciclos extremos.

El ensayo comienza con hallar la gravedad específica de todas las muestras, así como determinar el diámetro, altura y la gravedad específica bulk para calcular el % de vacíos y volumen de vacíos. Para luego separar en dos subgrupos.

Subgrupo seco: Se coloca en bolsas plásticas gruesas y se llevan a baño maría por dos horas a una temperatura promedio de 25°C, determinar el ancho y alto. Luego de ello, llevar al equipo especializado para esto de forma tal que la carga sea aplicada en el diámetro y el cabezal se mueva a razón de 50mm por minuto.

Subgrupo condicionado:

- a) La muestra se coloca en el contenedor de vacío con agua que lo cubra a menos una pulgada por encima y aplicar un vacío de 10 a 26 pulgadas de Hg por cinco minutos, quitar el vacío y dejar remojar por otros cinco minutos.
- b) Pesar para determinar el peso SSS.
- c) Calcular el volumen absorbido de agua y determinar el grado de saturación.

*Vol. de agua absorbido*

$$= \text{Peso de la briqueta saturada con superficie seca} \\ - \text{Peso de la briqueta seca}$$

$$\text{Grado de saturación}(\%) = \frac{100 * \text{Vol. de agua absorbido}}{\text{Volumen de vacíos}}$$

Si este grado de saturación se encuentra entre 70% y 80%, se podrá continuar al siguiente paso, si se encuentra en más de 80% la muestra se encuentra dañada y no se podrá continuar; pero si se encuentra en menos de 70%, es necesario aplicar más tiempo en el vacío o más presión.

- d) Colocar cada muestra en una bolsa de material de plástico con aproximadamente diez milímetros de agua y colocar en una nevera a temperatura de -18°C por dieciséis horas.

- e) Después de ello, colocar las muestras a un baño maría con el agua a una temperatura de 60°C por un día completo, donde el agua se encuentre sobrepasando por una pulgada la superficie de las briquetas.
- f) Retirar las muestras y colocar a otro baño maría, pero con el agua a una temperatura de 25°C por dos horas, con especial cuidado de que el agua no aumente de la temperatura especificada.
- g) Medir las dimensiones de las briquetas, pesarlás nuevamente y ensayarlas como en el otro subgrupo.

La fórmula para calcular el esfuerzo-tensión es:

$$\text{Esfuerzo} = \frac{200 * \text{Carga máxima}}{3.141592 * \text{Altura} * \text{Diámetro}}$$

Así mismo, se halla la correlación entre los dos subgrupos de la siguiente manera:

$$\text{Razón de esfuerzos} = \frac{\text{Esfuerzo del Subgrupo acondicionado}}{\text{Esfuerzo del Subgrupo seco}}$$

#### 7) Ensayo de Tracción Indirecta

Se aplica carga en el alto de las muestras Marshall provocando compresión relativamente uniforme. Las ecuaciones dadas contemplan que las muestras son uniformes, elásticas e isotrópicas.

El ensayo da luz sobre dos propiedades de la mezcla. Una de ellas es la resistencia a la tracción a través de la sensibilidad a la humedad del agua, usualmente midiendo a tracción antes y después de ensayarla y midiéndola como un porcentaje con respecto al antes. Y la segunda, es a deformación por tracción para determinar el agrietamiento de la muestra.

El modo de ensayo es colocarlas a baño maría por seis horas y ensayar en el equipo correspondiente[43].

## Materiales y métodos

### Tipo de investigación

Según la metodología del estudio, la investigación es de tipo experimental porque las variables tanto dependientes como independientes pasarán por variaciones con el fin de determinar la influencia de reemplazar el relleno mineral usado usualmente por limaduras metálicas, observando y cuantificando la relación causa-efecto que tiene.

Además, es aplicada porque se utilizan conocimientos ya existentes para generar más conocimiento.

Así mismo, según los niveles de investigación es de tipo exploratorio porque brinda información y amplía el conocimiento en el ámbito del sector vial sobre materiales convencionales.

### Hipótesis

El reemplazo del filler convencional por limaduras metálicas mejorará las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente.

### Operación de variables

- Independiente: Limaduras metálicas

*Tabla N° 15: Variable independiente*

	<i>Variable Independiente</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Unidad de Medida</i>	<i>Rango de Indicación</i>
<i>Limaduras metálicas</i>	Las limaduras metálicas reemplazan parcialmente al filler convencional en los porcentajes señalados hasta llegar al reemplazo total.	Dosificación de la limadura	% en peso respecto al filler	25%, 50%, 75% y 100%

*Fuente: Elaboración propia*

➤ Dependiente: Propiedades mecánicas y físicas de las mezclas asfálticas

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS	NORMATIVA
Propiedades mecánicas y físicas de las mezclas asfálticas	Propiedades físicas de la mezcla asfáltica	Parámetros volumétricos	cm	Espesor o altura de especímenes compactados de mezclas asfálticas	MTCE 507
		Método Bulk	gr/gr C°	Peso Específico aparente y Peso Unitario empleando especímenes saturados con superficie seca	MTCE 514
		Ensayo Rice: Densidad teórica máxima	gr/gr C°	Ensayo para determinar la gravedad específica teórica máxima de la mezcla sin compactar	ASTM D 2041, AASHTO T 209
		Perdida de Desgaste	%	Ensayo de Cántabro	MTCE 515
	Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica	Estabilidad de la mezcla asfáltica	Lbs	Ensayo de Marshall	MTC E 504, ASTM D 1559
		Flujo de la mezcla asfáltica	mm	Ensayo de Marshall	MTC E 504, ASTM D 1559
		Estabilidad/Fluencia	Kg/mm	Ensayo de Marshall	MTC E 504, ASTM D 1559
		Resistencia al daño inducido por humedad	%	Ensayo de Lottman Modificado	MTC 522, AASTHO T283
		Resistencia a la Tracción Indirecta	Mpa	Ensayo de Tracción Indirecta	AASTHO T 283

Tabla N° 16: Variable dependiente

Fuente: Elaboración propia

➤ Intervinientes:

1. Tipo de cemento asfáltico: 60/70.
2. Diámetro del filler mineral: 0.075mm (Tamiz n°200)
3. Tipo de tráfico: tráfico medio.

### Población

Elementos de las mezclas asfálticas y limaduras metálicas.

### Criterio de Selección

- El agregado grueso se extrajo de la Cantera Tres Tomas ubicada en la ciudad de Ferreñafe, Lambayeque, Perú.
- El agregado fino se obtuvo de la Cantera La Victoria.
- El proceso de obtención de la limadura metálica fue visitar talleres mecánicos, soldaduras y refinadoras la cual procesan esto como un residuo de sus actividades diarias de corte de metales. La ubicación de donde se ha recolectado es un comercio

específicamente de refinado, que se encuentra en la Avenida Tahuantinsuyo 1378, cerca al parque los Mecánicos.

*Imagen N° 1: Localización de obtención de limaduras metálicas*



*Fuente: Google Maps*

### **Proceso de análisis de las limaduras metálicas**

El proceso comienza con los trabajos que realizan de corte de materiales metálicos que genera como residuo finas limaduras del mismo material alrededor el cual se recogerá con ayuda de un imán.

*Imagen N° 2: Corte de materiales metálicos*



*Fuente: Elaboración propia*

Posteriormente, el material se lleva a laboratorio para proceder a pasarlo por el tamiz N°200, el cual es necesario para obtener las partículas más finas necesarias para ser utilizadas como filler.

*Imagen N° 3: Tamizado de limaduras*



*Fuente: Elaboración propia*

Luego, al material que pasó por el tamiz, se envió 500gr al laboratorio «Laboratorio de Servicios a la Comunidad e Investigación (LASACI)» ubicado en Trujillo para que realice un análisis físico químico del material.

### Muestra y muestreo

La investigación tiene como técnica de muestreo en uno no probabilístico, es decir, se toma el criterio de la investigación para el análisis. Se elaboran y se ensayan 3 briquetas de asfalto convencional por cada porcentaje asfáltico, además de tres briquetas por cada reemplazo en relación material de relleno mineral convencional, por limaduras metálicas de 75%-25%, 50%-50%, 25%-75% y 0%-100% respecto a la cantidad total del relleno mineral teniendo como fundamento a la norma AASHTO T245, ASTM D 1559.

*Tabla N° 17: N° de Briquetas de la Muestra Patrón para Ensayo Marshall*

<i>PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MUESTRA PATRÓN: ENSAYO MARSHALL</i>						
FILLER %	PEN 60/70					Total
	4%	4.50%	5%	5.50%	6%	
1.0%	3	3	3	3	3	15

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla N° 18: N° de Briquetas de la Muestras Modificadas para Ensayo Marshall*

<i>PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MUESTRAS MODIFICADAS: ENSAYO MARSHALL</i>					
PEN 60/70	Relación cemento- limaduras metálicas				Parcial
	75% - 25%	50% - 50%	25% - 75%	0% - 100%	
4.0%	3	3	3	3	12
4.5%	3	3	3	3	12
5.0%	3	3	3	3	12
5.5%	3	3	3	3	12
6.0%	3	3	3	3	12
Total					60

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla N° 19: N° de Briquetas para Ensayo Lottman

<b>PROP. MECÁNICA: ENSAYO LOTTMAN</b>			
ENSAYO	PEN 60/70		Total
	Patrón	Óptimo	
LOTTMAN	6	6	12

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 20: N° de Briquetas para Ensayo Tracción Indirecta

<b>PROP. MECÁNICA: ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA</b>			
ENSAYO	PEN 60/70		Total
	Patrón	Óptimo	
TRACCIÓN INDIRECTA	3	3	6

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 21: N° de Briquetas para Ensayo Cántabro

<b>PROP. FÍSICAS: ENSAYO CANTABRO</b>			
ENSAYO	PEN 60/70		Total
	Patrón	Óptimo	
CANTABRO	4	4	8

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 22: Resumen de número de briquetas

## TABLA RESUMEN DE ENSAYOS

ENSAYO	PARCIAL
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MUESTRA PATRÓN: ENSAYO MARSHALL	15
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MUESTRAS MODIFICADAS: ENSAYO MARSHALL	60
PROP. MECÁNICA: ENSAYO LOTTMAN	12
PROP. MECÁNICA: ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA	6
PROP. FÍSICAS: ENSAYO CANTABRO	8
TOTAL	101

Fuente: Elaboración propia

**Método de ensayo:****Ensayos a agregados**

## 1. Granulometría

Se usa para determinar los tamaños de materiales, se seleccionó 4000gr de agregado entre fino y grueso y se pasan por los tamices.

El material atrapado en cada tamiz se pesa y se anota.

Se usaron los tamices normalizados por la norma.

*Imagen N° 4: Granulometría de los agregados*



*Fuente: Elaboración propia*

## 2. Abrasión

Con ayuda del Tamaño Máximo Nominal hallado por granulometría da un resultado de  $\frac{1}{2}$  pul, se selecciona el tipo de gradación, en este caso fue la gradación «B», el material seleccionado se pasa por la máquina de Los Ángeles a una velocidad de 30rpm a 33rpm para lograr 500 revoluciones y se pesa el retenido por el tamiz N°10.

*Imagen N° 5: Ensayo de Abrasión de agregados*



*Fuente: Elaboración propia*

## 3. Peso específico y absorción de agregado grueso

Se tamiza la muestra de tal manera que el material que pasa el tamiz N°4 sea removido, y en caso presente polvo o impurezas, se limpia con agua y coloca en el horno.

Luego de ello, se deja remojando el material por 24horas y luego se extiende en una superficie lisa para poder secar superficialmente el agregado con ayuda de un pañito absorbente y se pesa. Automáticamente después de esto, se coloca en una canastilla y se pesa el material sumergido en agua con cuidado de liberar el aire dentro del agregado, para luego secarlo en horno por 24horas y pesar nuevamente.

*Imagen N° 6: Peso específico y absorción de agregado grueso*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4. Ensayo de Sales

Con la muestra seca, se deja sumergido en taras con agua destilada que las cubra al menos 3cm y se deja reposando por 24horas, luego de ello, el agua escurrida se coloca en una hornilla hasta que empiece la ebullición. El líquido que se aprecia transparente se lleva a una alícuota de capacidad de 50ml o 100ml y se lleva al horno 24horas, se pesa el resultado.

*Imagen N° 7: Ensayo de sales en los agregados*

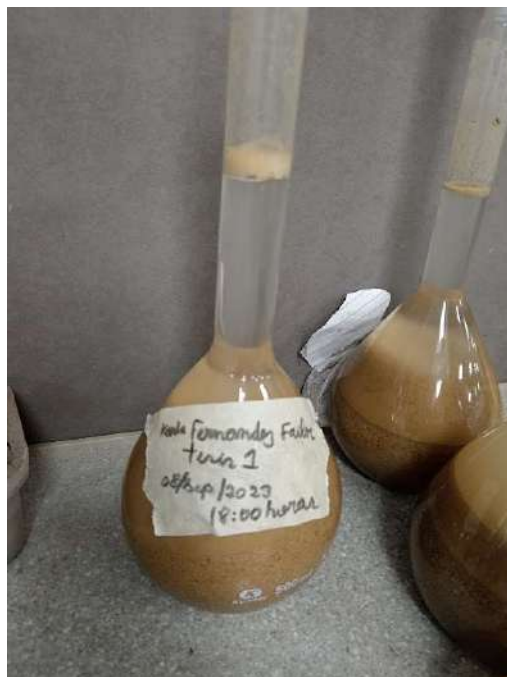


*Fuente: Elaboración propia*

5. Gravedad específica y absorción de agregado fino

Se toma una muestra de 500gr de agregado fino en una fiola, se introduce agua destilada y agitar para eliminar las burbujas por un tiempo de al menos 45 minutos, luego llenarlo a la marca calibrada para dejarlo reposar un día y se determina el peso de la fiola. El material se vacía en una tara para secarla al horno, se enfría y se pesa también.

*Imagen N° 8: Gravedad específica y absorción en agregados*



*Fuente: Elaboración propia*

6. Equivalente de arena

Se cuarteó 1Kilo de agregado fino y se realiza un cuarteo. Además de ello, en una galonera de agua se extraen 100ml y se remplaza con solución stock para agitarlo por un minuto dentro del mismo envase de agua.

Luego se vacía en 3 probetas graduadas hasta alcanzar la marca de 10cm y aparte en un molde se llena de material fino humedecido con 25 golpes al ras.

Dentro de cada probeta se coloca el material fino y se agita 100 revoluciones y se espera 15 minutos para volver a agitar y se espera 30 minutos para realizar las lecturas de hasta qué medida llega el material cuando se asienta y con ayuda de un elemento se compacta el material y se toma también esa medida.

*Imagen N° 9: Equipos para ensayo equivalente de arena en agregado fino*



*Fuente: Elaboración propia*

*Imagen N° 10: Imagen N°09: Equivalente de arena de agregado fino*



*Fuente: Elaboración propia*

## 7. Índice de Plasticidad

Al material seleccionado que atraviesa el tamiz N°40 y N°200 se le coloca agua destilada hasta saturarlo, se deja en una bolsa cerrada por 24 horas y se procedió a realizar el ensayo con una cuchara de Casa Grande. Se esparció material, con ayuda de un acanalador se separa exactamente por la mitad, y se manejó la manivela a una velocidad de 2 golpes por cada segundo con el fin de que estas dos mitades se vuelvan a juntar, se toma nota del número de golpes que se necesitó y con una espátula se toma un poco del material para pesarlo, llevarlo al horno 24 horas y volverlo a pesar. Este proceso se repite, pero para las siguientes se va humedeciendo más el agregado para disminuir su cantidad de golpes. Asu vez, para el límite plástico, del primer agregado húmedo que se tuvo, se hacen unas formas elipsoidales para pesarlas, colocarlas en el horno y volverlas a pesar.

*Imagen N° 11: Índice de Plasticidad en agregado fino*



*Fuente: Elaboración propia*

## 8. Azul metileno

El procedimiento del ensayo comienza con seleccionar 5gr de agregado fino que pasa el tamiz N°200 y se introducen 250ml de agua destilada, con ayuda del compuesto Azul

Metileno y de una jeringa se va introduciendo de a pocos y de gota en gota, mezclando y colocando esa mezcla en papel filtro 42 de tal manera que tiña de azul.

*Imagen N° 12: Azul metileno en agregados*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 9. Durabilidad al Sulfato de Magnesio

El procedimiento consiste en obtener 100gr de material retenido sobre los tamices N°100, N°50, N°30, N°16, N°8 y N°4, así mismo para el agregado grueso se debe tener 300gr sobre el tamiz N°4, 330gr sobre el tamiz de 3/8" y 670gr sobre el tamiz 1/2". Se lava sobre el mismo tamiz retenido y se coloca en el horno 24horas. Al cabo de ese tiempo, se le introduce la mezcla del sulfato de magnesio con agua destilada y se le tapa para que no ingresen agentes extraños por 24horas, pasado el tiempo, se escurre la solución líquida y se guarda en el horno por otros 24horas, se retira, se deja enfriar y se le coloca la solución líquida otra vez; y así el proceso continua por 5 ciclos hasta que al final al material seco sacado del horno se le lava con agua destilada de tal manera que quede el material limpio y se vuelve a introducir 24horas al horno. Pasado este tiempo se vuelve a pasar por el tamiz por el cual fueron retenidos y se pesa.

*Imagen N° 13: Durabilidad al sulfato de Magnesio en agregados*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 10. Partículas Chatas y Alargadas

Se tamiza al tamiz N°4 hasta tener aproximadamente 100 partículas y a cada una de ellas se le coloca en tres grupos: alargadas, chatas, o ni chatas ni alargadas. Y se pasa por un calibre para determinar a cuál grupo pertenece.

*Imagen N° 14: Partículas Chatas y Alargadas en agregado grueso*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 11. Caras Fracturadas

Se lava la muestra sobre el tamiz N°04 y establece el peso de la muestra, y para saber el n° de caras fracturadas se esparce el material y se analiza cada una en base a que, si la cara es al menos 1/4 de la máxima área transversal, se considera fracturada. Y así se

separan en dos grupos, el primero en base a su número de caras fracturadas, en este caso se tomó de una y de dos; y el segundo de no reúnen las características. Cada grupo se pesa y se anota.

*Imagen N° 15: Caras fracturadas en agregado grueso*



*Fuente: Elaboración propia*

## **Preparación de las muestras**

Se sigue la MTC E 504 [35]:

### **1. Diseño de mezcla**

En base a la granulometría planteada, se procede a realizar un diseño de mezcla para la muestra patrón, así como para las modificadas. Dentro del patrón, quedó 43% de grava y 56% de arena y 1% de filler para una briqueta de 1500gr para cada variación de porcentaje de cemento asfáltico 60/70.

### **2. Pesaje de los agregados**

Se pesa lo calculado anteriormente para tanto el agregado fino, grueso y filler para una de las briquetas, se comenzó con el pesaje de los agregados para la briqueta convencional con cemento asfáltico al 4%.

*Imagen N° 16: Pesaje de agregados para mezcla*



*Fuente: Elaboración propia*

Luego de pesar los agregados, se colocan en una bolsita rotulada con el tipo y la clasificación a la cual pertenece para ser almacenada y se encuentre lista para cuando se empiece a cocinar.

*Imagen N° 17: Agregados en bolsa para mezcla*



*Fuente: Elaboración propia*

### 3. Cocinado de briquetas

Para empezar a cocinar las briquetas es necesario tres cosas principales:

- B) El cemento asfáltico caiga en un recipiente de metal, puesto que inicialmente se encuentra en un balde y es necesario retirar un poco para calentarlo en una hornilla con el fin de volverlo líquido.

*Imagen N° 18: Cemento asfáltico en balde*



*Fuente: Elaboración propia*

- C) Los agregados colocados en las bolsitas deben estar calientes, para ello, se vacían una tara y se colocan al horno.

*Imagen N° 19: Agregados vaciados en una tara*



*Fuente: Elaboración propia*

- D) Tener trozos de papel del tamaño de la base de los moldes para compactar.

*Imagen N° 20: Marcas para base de molde*



*Fuente: Elaboración propia*

Luego de tenerlo listo, se procede a cocinar las briquetas.

Se vacía en una tara los agregados para briquetas con las mismas características y composición, así como el cemento asfáltico, líquido por haber estado en la hornilla, previamente pesado y se revuelve vigorosamente mientras se encuentran estos elementos en caliente, cuando se enfríe un poco, colocar esta mezcla al calor y volver a revolver de manera que queden los agregados y filler totalmente cubiertos por el cemento asfáltico.

*Imagen N° 21: Mezclado de briquetas*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4. Compactación de briquetas

Luego de que quede todo uniforme, se toma la base y el molde para compactar y se coloca en la base uno de los círculos de papel que se cortó en un inicio, se vacía la mezcla en caliente en el molde hasta dos tercios de la altura y con ayuda de un cuchillo se golpea 15 veces en el perímetro además de 10 veces en la zona central, luego se coloca la cabeza del juego del molde y se coloca más mezcla que con ayuda de la cuchara se compacta nuevamente.

*Imagen N° 22: Colocación de mezcla en el molde*



*Fuente: Elaboración propia*

Para volver a compactar, se coloca otro círculo de papel encima y se lleva al equipo para compactar de acuerdo con el n° de golpes acorde a el tipo de tráfico escogido, en este caso es de tráfico medio y se realizaron 55 golpes por lado.

*Imagen N° 23: Compactación de briquetas*



*Fuente: Elaboración propia*

Después de compactar por los dos lados, se coloca la muestra sobre una superficie limpia y sin inclinaciones para que pueda enfriar. Cuando llega a temperatura ambiente, se procede a desencofrar con ayuda de un equipo.

*Imagen N° 24: Desencofrado de briquetas*



*Fuente: Elaboración propia*

Se coloca en una de las caras una cinta con el nombre o las características u composición que posee para ubicarla fácilmente.

*Imagen N° 25: Descripción de briquetas hechas*



*Fuente: Elaboración propia*

### **Parámetros volumétricos**

A cada briqueta se le mide el diámetro y altura múltiples veces para promediar datos.

*Imagen N° 26: Medición de altura y diámetro*



*Fuente: Elaboración propia*

Luego de ello, se determina el peso de la briqueta en mención, y el proceso se repite con todas las muestras.

*Imagen N° 27: Pesaje de una briqueta compactada*



*Fuente: Elaboración propia*

### **Ensayo Densidad Bulk**

Para realizar el ensayo, se debe haber tenido anteriormente el peso seco, luego de ello, se ubica la balanza sobre un estante encima de un lavabo lo suficientemente profundo como para incluir un balde lleno de agua, y sobre la balanza se coloca unas uniones a una canastilla dentro del balde y se coloca ese peso como neutro o como cero para facilitar las siguientes tomas de mediciones. Posteriormente a ello y con balanza en 0 gramos, se coloca la briqueta dentro de la canasta y se espera 5 minutos aproximadamente hasta que el agua pierda su turbulencia y el peso se estabilice para registrarlo.

*Imagen N° 28: Sumergimiento de una briqueta*



*Fuente: Elaboración propia*

Luego de anotar ese dato, se retira la briqueta, se seca superficialmente y se vuelve a pesar en una balanza.

### **Ensayo Marshall**

El ensayo Marshall se desarrolló en el laboratorio externo «EMS Revolution Chiclayo» debido a que en los laboratorios de la universidad no se encontraba el equipo necesario para desarrollar correctamente el ensayo.

Se organizaron las briquetas en el laboratorio externo, se llevaron un total de 75 muestras.

*Imagen N° 29: Organización de briquetas compactadas*



*Fuente: Elaboración propia*

Luego de ello, se colocaron en un horno a 60 grados centígrados por 120 minutos y se realiza un baño de aire por otros 120 minutos a 25 grados centígrados. Limpiar el equipo de máquina de carga y envolver la briqueta antes de colocar el segmento superior del cabezal y el flujómetro.

*Imagen N° 30: Colocación de cabezales en ensayo Marshall*



*Fuente: Elaboración propia*

Se ajusta la máquina y se anota la resistencia máxima a la que llega, así como el dato del flujómetro.

*Imagen N° 31: Toma de datos en ensayo Marshall*



*Fuente: Elaboración propia*

## Ensayo Cántabro

El procedimiento del ensayo Cántabro fue el siguiente: Una vez ya se cuente con las briquetas con los contenidos óptimos, se coloca la muestra por dentro de la máquina de Los Ángeles sin las bolas y se deja dar 300 vueltas.

*Imagen N° 32: Colocación de la muestra asfáltica para ensayo Cántabro*



*Fuente: Elaboración propia*

Una vez terminado, se procede a pesar y se compara el peso anterior que tenía con a que ahora ha pasado un proceso de abrasión.

*Imagen N° 33: Pesaje de las briquetas*



*Fuente: Elaboración propia*

### Ensayo de humedad inducida de Lottman

El ensayo de Lottman consistió de tener seis muestras de los porcentajes de cemento asfáltico óptimos de cada grupo, tanto de las convencionales como de las modificadas, a cada una de ellas se les midió el alto, el diámetro y se les hizo el ensayo de bulk para considerarlos como datos de entrada.

*Imagen N° 34: Medición y ensayo bulk para ensayo de humedad inducida*



*Fuente: Elaboración propia*

Luego de ello, se dividió en dos sectores, el sector seco y el grupo condicionado.

Las muestras del grupo seco se colocaron en bolsas plásticas antigoteo y se colocaron en una poza sumergidos por dos horas y se procedió a ensayar en el equipo correspondiente.

*Imagen N° 35: Grupo seco del ensayo de humedad inducida*



*Fuente: Elaboración propia*

Con respecto al grupo acondicionado, se colocaron en taras, se llenaron de agua hasta que sobrepase a las briquetas y se colocaron en el refrigerador por dieciséis horas.

*Imagen N° 36: Briquetas sumergidas en agua para entrar en refrigeración*



*Fuente: Elaboración propia*

Luego de ello, se retiró de a refrigeradora y se esperó a que estuvieran a temperatura ambiente.

*Imagen N° 37: Briquetas congeladas para ensayo humedad inducida*



*Fuente: Elaboración propia*

Se introdujeron en baño maría con una temperatura de 60°C por 24horas.

*Imagen N° 38: Baño maría a 60°C*



*Fuente: Elaboración propia*

Luego de ello, se baja la temperatura a que se encuentre el agua a 25°C y se deja a esa temperatura por dos horas, y se ensaya.

*Imagen N° 39: Ensayo Lottman*



*Fuente: Elaboración propia*

### **Ensayo De Tracción Indirecta**

El ensayo consta de colocar tres muestras para cada porcentaje óptimo calculado, para las convencionales y para las modificadas, y sumergirlas a baño maría en una poza con agua por seis horas.

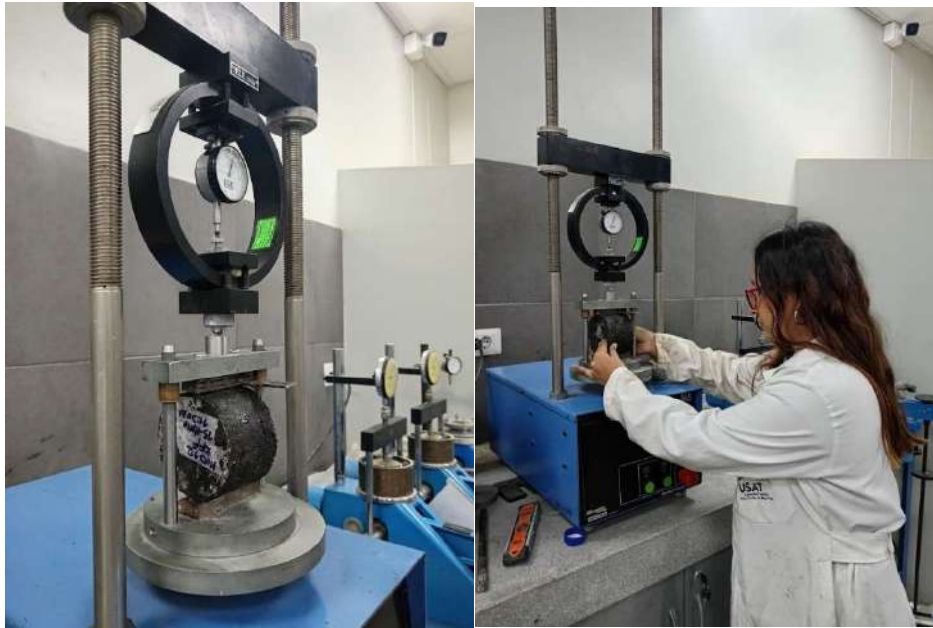
*Imagen N° 40: Briquetas sumergidas para ensayo Tracción Indirecta*



*Fuente: Elaboración propia*

Luego de ello, pesarlas y ensayarlas.

*Imagen N° 41: Ensayo tracción indirecta*



*Fuente: Elaboración propia*

## Resultados

### Resultados de caracterización de limaduras metálicas

Se envió a un laboratorio externo para ser analizadas a profundidad y se obtuvo las siguientes propiedades fisicoquímicas:

*Tabla N° 23: Propiedades fisicoquímicas de limaduras metálicas*

<b>Composición</b>	Carbono: 0.3% Manganeso: 1.72% Fósforo: 0.04% Silicio: 0.55% Azufre: 0.04% Hierro: 97.3%
<b>Color</b>	Gris Oscuro
<b>Olor</b>	Característico
<b>Aspecto</b>	Polvo
<b>PH:</b>	N.D
<b>Densidad: (kg/l) (20°C)</b>	7.868
<b>Temperatura de Ebullición</b>	2873°C
<b>Punto de fusión</b>	1534°C
<b>Presión de vapor</b>	1.0 mmHg a 1787°C
<b>Solubilidad</b>	Insoluble en agua

*Fuente: Laboratorio Fisicoquímico Ambiental Perú S.A.C.*

### Resultados para ensayos de agregados

#### 1. Granulometría

*Tabla N° 24: Granulometría de agregados*

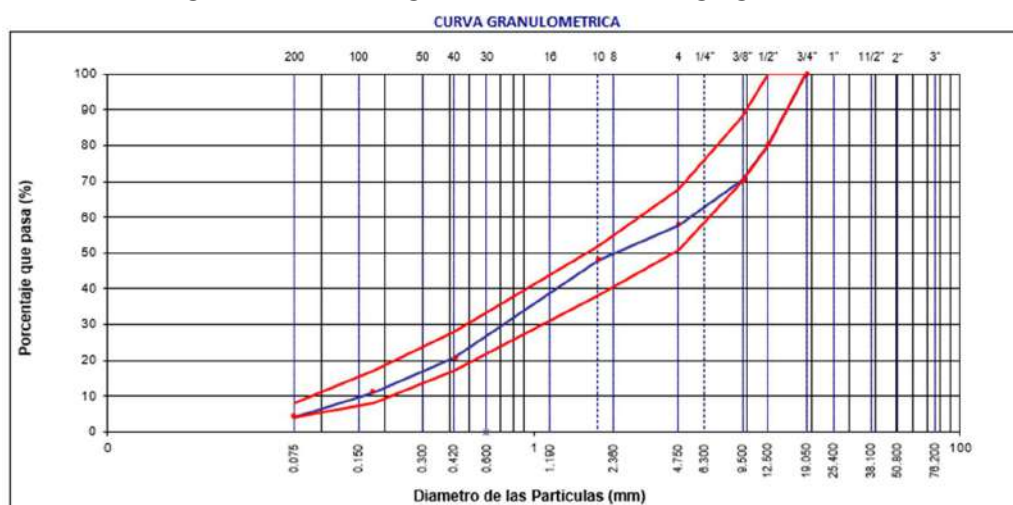
TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA
3"	76.200				
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	625.22	15.6	15.6	84.4
3/8"	9.500	453.14	11.3	27.0	73.0
N° 4	4.750	640.60	16.0	43.0	57.0

N° 10	2.000	449.77	11.2	54.2	45.8
N° 40	0.425	1,003.80	25.1	79.3	20.7
N° 80	0.177	395.35	9.9	89.2	10.8
N° 200	0.075	204.25	5.1	94.3	5.7
< N° 200	FONDO	227.87	5.7	100.0	

Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica cumple con las especificaciones para la mezcla asfáltica tipo MAC-2.

Imagen N° 42: Curva granulométrica de los agregados



Fuente: Elaboración propia

El diagrama de curva granulométrica verifica que los agregados cumplen con las especificaciones para la mezcla asfáltica tipo MAC-2.

## 2. Abrasión

El ensayo de abrasión presentó un porcentaje de desgaste de 12.5% respecto al peso inicial de cinco kilos, y a su vez presentó un coeficiente de uniformidad de 0.2.

Tabla N° 25: Resultados de Ensayo de Abrasión

Peso inicial antes del ensayo	5000 g
Peso final después de 200 Rev.	4881g
Peso final luego de 500 Rev.	4376g

% de desgaste por abrasión	12.5
% de uniformidad	0.2

*Fuente: Elaboración propia*

### 3. Absorción y Contenido de humedad

#### ➤ Peso específico y Absorción

Los resultados del ensayo del agregado fino fueron que tiene un peso específico de 2.552g/cm<sup>3</sup>, cuando se encuentra saturado es 2.572g/cm<sup>3</sup> y el peso esp. Aparente es 2.604g/cm<sup>3</sup> con un porcentaje de absorción de agua de 0.78%.

*Tabla N° 26: Resultados ensayo Peso específico y absorción en agregado fino*

<b>Elemento a pesar (g)</b>	<b>Peso (g)</b>
Arena SSS+ Frasco+ Agua	978.7
Arena SSS + Frasco	673.1
Agua	305.62
Arena secada en horno + Frasco	671.22
Frasco	173.1
Arena secada en horno	498
Volumen del frasco/fiola	500
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	2.563
Peso esp. SSS (g/cm <sup>3</sup> )	2.572
Peso esp. Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2.588
Porcentaje de absorción (%)	0.38

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados del ensayo del agregado grueso fueron que tiene un peso específico de 2.624g/cm<sup>3</sup>, cuando se encuentra saturado es 2.648g/cm<sup>3</sup> y el peso esp. Aparente es 2.688g/cm<sup>3</sup> con un % de absorción de agua de 0.91%.

Se coloca que la canastilla no pesa debido a que se ha tarado.

*Tabla N° 27: Resultados ensayo Peso específico y absorción en agregado grueso*

<b>Elemento a pesar (g)</b>	<b>Peso (g)</b>
Muestra seca por horno	1180

Muestra SSS	1191
Muestra dentro de agua + Canastilla	741
Canastilla	0
Muestra SSS dentro del agua	741
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	2.624
Peso esp. SSS (g/cm <sup>3</sup> )	2.648
Peso esp. Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2.688
Porcentaje de absorción (%)	0.91

*Fuente: Elaboración propia*

➤ Contenido de Humedad

Los resultados del contenido de humedad para el agregado fino es 0.25% acorde a una muestra húmeda de 2000g.

*Tabla N° 28: Resultados ensayo Contenido de humedad en agregado fino*

<b>Elemento a pesar (g)</b>	<b>Peso (g)</b>
Muestra húmeda	2000
Muestra seca	1995
Recipiente	0
Contenido de humedad	0.25%

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados del contenido de humedad para el agregado grueso es 0.91% acorde a una muestra húmeda de 1190g.

*Tabla N° 29: Resultados ensayo Contenido de humedad en agregado grueso*

<b>Elemento a pesar (g)</b>	<b>Peso (g)</b>
Muestra húmeda	1190.7
Muestra seca	1180
Recipiente	0
Contenido de humedad	0.91%

*Fuente: Elaboración propia*

## 4. Sales

El resultado de sales mostró que tanto el agregado grueso como el fino tienen 0% de sales.

*Tabla N° 30: Resultado ensayo de Sales en agregados*

<b>Ítem</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agregado Fino</b>
Peso de beaker	49.48	31.71
Peso de beaker + residuo de sales	49.48	31.71
Peso de residuo de sales	0	0
Vol. Solución	250	375
Const. de sales solubles totales	0	0
Const. de sales solubles totales en peso seco	0	0

*Fuente: Elaboración propia*

## 5. Gravedad específica

El resultado de ensayo dio que el peso específico relativo de los sólidos es 1.07gr/cm<sup>3</sup>.

*Tabla N° 31: Resultados de ensayo gravedad específica en agregados*

<b>Ítem a pesar</b>	<b>Peso (g)</b>
Fiola	173.1
Muestra suelo-seco	50
Muestra suelo-seco y fiola	223.1
Muestra + fiola+ agua	874.6
Fiola + agua	871.3
Peso esp. Rel. De sólidos	1.070

*Fuente: Elaboración propia*

## 6. Equivalente de arena

El porcentaje promedio del equivalente de arena para las tres probetas resultó 76%.

Tabla N° 32: Resultados de ensayo Equivalente de arena

<b>Descripción</b>	<b>C-1</b>		
	1	2	3
Muestra N°			
Hora-entrada	15:51:00	15:53:00	16:02:00
Hora-salida	16:01:00	16:03:00	16:12:00
Hora-entrada	16:04:00	16:06:00	16:14:00
Hora-salida	16:34:00	16:36:00	16:44:00
Altura máx. del mat. fino (cm)	5.80	5.50	5.70
Altura máx. de la arena (cm)	4.40	4.20	4.30
Eq. de arena	75.9 %	76.4 %	75.4 %
Eq. de arena		76%	

Fuente: Elaboración propia

#### 7. Índice de Plasticidad

El ensayo se desarrolló con tres muestras y se tomó los datos tomados a continuación:

Tabla N° 33: Datos de ensayo índice de plasticidad

<b>Datos del ensayo</b>	<b>Límite Líquido</b>			<b>Límite Plástico</b>
N° de golpes	35	25	15	-
Tarro + suelo húmero	18.07	18.18	17.20	15.14
Tarro+ suelo seco	16.44	16.49	15.87	13.98
Agua	1.63	1.69	1.33	1.16
Peso del tarro	7.37	7.41	7.37	7.36
Peso del suelo seco	9.07	9.09	8.4	6.62
% de humedad	17.97	18.61	15.65	17.52

Fuente: Elaboración propia

A lo cual, al analizarlo, se tuvo los siguientes resultados:

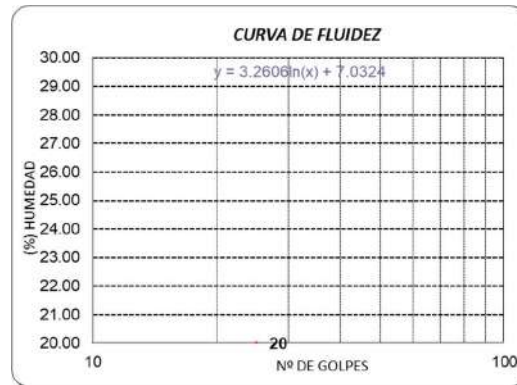
Tabla N° 34: Resultados de ensayo índice de plasticidad

Límite Líquido	17.52
Límite Plástico	17.52
Índice de Plasticidad	0

Fuente: Elaboración propia

Con una curva de fluidez como la siguiente:

Imagen N° 43: Curva de Fluidez



Fuente: Elaboración propia

Para el agregado fino el límite líquido es 17.52 y es no plástica, por ende, no posee índice de plasticidad.

#### 9. Azul Metileno

Los resultados del ensayo mostraron que se usaron 6ml para lograr llegar al tono correcto, por ende, el resultado es 1.2.

Tabla N° 35: Resultados del ensayo Azul Metileno

Azul de Metileno	Cantidad de Solución	Peso de materia fino	Resultado
Cada 0.5ml	6 ml	5g	1.2

Fuente: Elaboración propia

#### 10. Durabilidad al Sulfato de Magnesio

Los resultados a la durabilidad frente a los sulfatos de Magnesio en los agregados finos mostraron un desgaste total de 15%

Tabla N° 36: Resultados de ensayo Durabilidad al Sulfato de Magnesio en Agregado Fino

Tamaño de los tamices		Gradación	Gradación de la	Peso de las Fracciones	Peso Ret.	Pérdida	Pérdida
		Original	Muestra Originales	comprendido antes del ensayo	después del ensayo	Total	Corregida
Pasa	Retiene	(g)	(%)	(g)	(g)	(%)	(%)
3/8"	N° 4	100	14.3	100	86.79	13.2	1.9
9.5 mm	4.75 mm						
N° 4	N° 8	100	14.3	100	83.45	16.6	2.4
4.75 mm	2.36 mm						
N° 8	N° 16	100	14.3	100	84.67	15.3	2.2
2.36 mm	1.18 mm						
N° 16	N° 30	100	14.3	100	83.79	16.2	2.3
1.18 mm	600 µm						
N° 30	N° 50	100	14.3	100	86.4	13.6	1.9
600 µm	300 µm						
N° 50	N° 100	100	14.3	100	86.52	13.5	1.9
300 µm	150 µm						
N° 100		100	14.3	100	83.3	16.7	2.4
150 µm							
Totales		700	100.0	700	594.92		15.0

Fuente: Elaboración propia

Los resultados a la durabilidad frente a los sulfatos de Magnesio en los agregados gruesos mostraron un desgaste total de 12.2%.

Tabla N° 37: Resultados de ensayo de Durabilidad al Sulfato de Magnesio en Agregados Gruesos

Tamaño de los tamices		Gradación	Gradación de la	Peso de las Fracciones	N° de	Peso Ret.	Pérdida	Pérdida	N° de
		Original	Muestra Originales	comprendido antes del ensayo	partículas	después del ensayo	Total	Corregida	partículas
Pasa	Retiene	(g)	(%)	(g)		(g)	(%)	(%)	

3/4"	1/2"	670	51.5	670	23	578.08	13.7	7.1	16
19 mm	12.5 mm								
1/2"	3/8"	330	25.4	330	23	289.83	12.2	3.1	14
12.5 mm	9.5 mm								
3/8"	N° 4	300	23.1	300	23	273.07	9.0	2.1	
9.5 mm	4.75 mm								
	Totales	1300	100.0	1300		1140.98		12.2	

Fuente: Elaboración propia

### 11. Partículas Chatas y Alargadas

El resultado de las partículas chatas y partículas alargadas es 5.7% respecto al total de la muestra ensayada.

Tabla N° 38: Resultados de ensayo Partículas Chatas y Alargadas

TAMIZ		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS		
Pulg.	Mm.	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO RET.	% RET.	% PASA
2 1/2"	63.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2"	50.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	37.500	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1"	25.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/4"	19.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2"	12.500	1015.5	40.6	59.4	9.7	1.0 %	0.4 %	3.08	0.3 %	0.1 %
3/8"	9.500	934.3	37.4	22.0	106.8	11.4 %	4.5 %	15.83	1.7 %	0.7 %
1/4"	6.300	417.0	16.7	5.3		---	---		---	---
Menor 1/4"		---	5.3	1.2	---	---	---	---	---	---
<b>TOTAL</b>		<b>2366.8 g.</b>	<b>100.0 %</b>	<b>0.0</b>	<b>116.5 g.</b>	<b>12.4%</b>	<b>4.9%</b>	<b>18.9 g.</b>	<b>2.0%</b>	<b>0.8%</b>
		<b>TOTAL =</b>				<b>2366.8 g.</b>				
		<b>PART. ALARGADAS Y CHATAS =</b>				<b>5.7 %</b>				

Fuente: Elaboración propia

### 12. Caras Fracturadas

El resultado en porcentaje de una cara fracturada es 75.2%.

Tabla N° 39: Resultados de ensayo con una cara fracturada

TAMIZ						
-------	--	--	--	--	--	--

TAMIZ		PESO MÍN.	PESO MUESTR A A	PESO CON UNA CARA FRACT. B	% DE CARAS FRACTURAD A C = ((B/A)*100)	% RET. GRADACIÓ N ORIGINAL D	PROM. DE CARAS FRACTURAD AS E = C * D
PAS A	RETIEN E						
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---	---
1"	3/4"	---	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	1200.0 g.	1200.0	930.2	77.5 %	1200.0 %	930.2 %
1/2"	3/8"	300.0 g.	300.0	198.1	66.0 %	300.0 %	198.1 %
TOTAL		1500.0 g.	1500.0 g.	1128.2 g.		1500.0 %	1128.2 %
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA = 75.2%							

*Fuente: Elaboración propia*

Y cuando hay más de una cara fracturada, los resultados fueron los mostrados a continuación:

*Tabla N° 40: Resultados de ensayo con más de una cara fracturada*

TAMIZ		PESO MÍN.	PESO MUESTR A A	PESO MATERIAL CON DOS CARAS FRACT. B	% DE CARAS FRACTURAD A C = ((B/A)*100)	% RET. GRADACIÓ N ORIGINAL D	PROM. DE CARAS FRACTURAD AS E = C * D
PAS A	RETIEN E						
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---	---
1"	3/4"	---	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	1200.0 g.	1200.0	846.0	70.5 %	1200.0 %	846.0 %
1/2"	3/8"	300.0 g.	300.0	238.1	79.4 %	300.0 %	238.1 %
TOTAL		1500.0 g.	1500.0 g.	1084.1 g.		1500.0 %	1084.1 %
PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS = 72.3%							

*Fuente: Elaboración propia*

## Resultados de Diseño de Mezcla

### Ensayo Densidad Bulk

Los resultados del ensayo se midieron en determinar el diámetro, altura, el peso seco, el peso sumergido, el peso SSS, y con ello se calculó el volumen. Se realizó en las briquetas convencionales.

### Peso Unitario

Los resultados del peso unitario acorde a las briquetas anteriormente estudiadas y con datos establecidos, establecen los siguientes pesos unitarios.

*Tabla N° 41: Resultados de Peso Unitario de briquetas*

PEN	N°	RELACIÓN CEMENTO-LIMADURAS				
		100% - 0%	75% - 25%	50% - 50%	25% - 75%	0% - 100%
		Peso Unitario (g/cc)				
4.0%	P1	2.226	2.334	2.377	2.317	2.302
4.0%	P2	2.162	2.377	2.426	2.327	2.217
4.0%	P3	2.244	2.370	2.423	2.294	2.257
	promedio	2.211	2.360	2.409	2.313	2.258
4.5%	P1	2.177	2.334	2.404	2.347	2.276
4.5%	P2	2.362	2.377	2.354	2.299	2.269
4.5%	P3	2.173	2.370	2.358	2.324	2.281
	promedio	2.237	2.360	2.372	2.323	2.275
5.0%	P1	2.438	2.364	2.376	2.322	2.294

<b>5.0%</b>	P2	2.283	2.300	2.398	2.336	2.331
<b>5.0%</b>	P3	2.267	2.377	2.301	2.392	2.286
	promedio	2.329	2.347	2.358	2.350	2.304
<b>5.5%</b>	P1	2.416	2.356	2.332	2.349	2.300
<b>5.5%</b>	P2	2.373	2.350	2.365	2.375	2.276
<b>5.5%</b>	P3	2.246	2.320	2.331	2.346	2.279
	promedio	2.345	2.342	2.343	2.356	2.285
<b>6.0%</b>	P1	2.329	2.307	2.317	2.307	2.296
<b>6.0%</b>	P2	2.374	2.365	2.313	2.297	2.262
<b>6.0%</b>	P3	2.286	2.358	2.335	2.253	2.280
	promedio	2.330	2.344	2.322	2.285	2.279

*Fuente: Elaboración propia*

## Ensayo Rice

Los resultados del ensayo rice muestran la relación decreciente que posee el cemento asfáltico en la muestra, es decir, cuanto más PEN se utilice en una briqueta, menor será el valor del peso específico teórico máximo.

En la tabla a continuación se refleja esta relación a lo largo de las briquetas típicas y las briquetas experimentales:

*Tabla N° 42: Resultados de ensayo Rice*

*Relación Cemento-Limaduras*

<i>PEN</i>	100% - 0%	75% - 25%	50% -50%	25% - 75%	0% - 100%
	Rice (g/cc)				
4.0%	2.521	2.547	2.568	2.573	2.586
4.5%	2.483	2.517	2.538	2.542	2.560
5.0%	2.471	2.492	2.513	2.525	2.534
5.5%	2.467	2.435	2.447	2.459	2.467
6.0%	2.447	2.385	2.396	2.412	2.431

*Fuente: Elaboración propia*

## Porcentaje de vacíos

El % de vacíos es un factor muy importante para evaluar cuando se analizan las mezclas. Se muestra la relación decreciente que tiene esta característica respecto al aumento de la cantidad de cemento asfáltico.

Tabla N° 43: Resultados del porcentaje de vacíos

PEN	N°	Relación Cemento-Limaduras				
		100% - 0%	75% - 25%	50% -50%	25% - 75%	0% - 100%
		Porcentaje de Vacíos (%)				
4.0%	P1	14.523	8.353	7.441	9.937	10.996
4.0%	P2	14.812	6.677	5.535	9.540	14.274
4.0%	P3	13.856	6.921	5.645	10.826	12.746
	promedio	14.397	7.317	6.207	10.101	12.672
4.5%	P1	12.344	7.263	5.268	7.674	11.085
4.5%	P2	4.885	5.568	7.249	9.558	11.367
4.5%	P3	12.508	5.815	7.097	8.601	10.879
	promedio	9.912	6.215	6.538	8.611	11.111
5.0%	P1	1.355	5.135	5.448	8.038	9.453
5.0%	P2	7.620	7.675	4.577	7.491	7.986
5.0%	P3	8.261	4.599	8.439	5.287	9.770
	promedio	5.745	5.803	6.154	6.939	9.070
5.5%	P1	2.072	3.247	4.703	4.489	6.753
5.5%	P2	2.016	3.508	3.356	3.432	7.749
5.5%	P3	8.960	4.705	4.727	4.606	7.631
	promedio	4.349	3.820	4.262	4.175	7.378
6.0%	P1	2.878	3.240	3.289	4.338	5.551
6.0%	P2	3.379	0.814	3.485	4.765	6.960
6.0%	P3	2.594	1.132	2.535	6.586	6.223
	promedio	2.950	1.729	3.103	5.230	6.245

Fuente: Elaboración propia

## Ensayo Marshall

Los ensayos de flujo y estabilidad se aplicaron a las setenta y cinco muestras, desde la convencional hasta las modificadas y se realizó un análisis de la verificación de flujo y de relación estabilidad y fluencia. Los resultados de las muestras convencionales se encuentran en la siguiente tabla, los cuales muestra que en su mayoría cumplieron tanto con la verificación de flujo como la verificación del factor de rigidez.

Tabla N° 44: Resultados del Ensayo Marshall para muestras convencionales

### PATRÓN

PEN	Descripción		Estabilidad (kg)	Flujo (pul)	Verificación del flujo	Volumen (cc)	Factor de Corrección	Estabilidad Corregida (kg)	Factor de Rigidez	Verificación
	N°	Relación cem-lim								
4.0%	P1	100% - 0%	1378	13	CUMPLE	594.0	0.81	1116.18	3,380.31	CUMPLE
4.0%	P2	100% - 0%	1387	11	CUMPLE	603.0	0.78	1081.86	3,872.08	CUMPLE
4.0%	P3	100% - 0%	1398	12	CUMPLE	587.1	0.81	1132.38	3,715.16	CUMPLE
4.5%	P1	100% - 0%	1179	13	CUMPLE	585.7	0.83	978.57	2,963.57	CUMPLE
4.5%	P2	100% - 0%	1102	13	CUMPLE	467.8	1.19	1311.38	3,971.47	CUMPLE
4.5%	P3	100% - 0%	1176	12	CUMPLE	596.0	0.81	952.56	3,125.20	CUMPLE
5.0%	P1	100% - 0%	1203	14	CUMPLE	545.6	0.93	1118.79	3,146.20	CUMPLE
5.0%	P2	100% - 0%	1250	14	CUMPLE	560.7	0.86	1075.00	3,023.06	CUMPLE
5.0%	P3	100% - 0%	1272	13	CUMPLE	518.3	1.00	1272.00	3,852.21	CUMPLE
5.5%	P1	100% - 0%	1148	15	CUMPLE	502.9	1.04	1193.92	3,133.65	CUMPLE
5.5%	P2	100% - 0%	1055	15	CUMPLE	529.5	0.96	1012.80	2,658.27	CUMPLE
5.5%	P3	100% - 0%	1105	16	CUMPLE	494.2	1.09	1204.45	2,963.71	CUMPLE
6.0%	P1	100% - 0%	1009	18	NO CUMPLE	488.1	1.09	1099.81	2,405.53	CUMPLE
6.0%	P2	100% - 0%	993	17	NO CUMPLE	496.4	1.04	1032.72	2,391.66	CUMPLE
6.0%	P3	100% - 0%	875	15	CUMPLE	497.8	1.04	910.00	2,388.45	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Los resultados para la muestra que es 75% cemento y 25% limaduras metálicas respecto al total del filler se muestran a continuación.

Se observa que el flujo cumple en todas las variaciones que se realizó del cemento asfáltico, pero debido a los valores de estabilidad, en algunos casos no se cumplió la verificación del factor de rigidez pues sobrepasa el valor establecido por la norma en la cual indica que el material tiene buena resistencia, pero poca flexión por lo cual es frágil.

Tabla N° 45: Resultados del Ensayo Marshall para muestras con 75% cemento y 25% limaduras respecto al porcentaje del filler

**75% Cemento - 25% Limaduras**

PEN	Descripción		Estabilidad	Flujo (plg)	Verificación del flujo	Volumen	Factor de Corrección	Estabilidad Corregida	Factor de Rigidez	Verificación
	N°	Relación cem-lim								
4.0%	P1	75% - 25%	1148	12	CUMPLE	540.8	0.93	1067.64	3,502.76	CUMPLE
4.0%	P2	75% - 25%	1261	12	CUMPLE	540.3	0.93	1172.73	3,847.54	CUMPLE
4.0%	P3	75% - 25%	1159	11	CUMPLE	544.8	0.93	1077.87	3,857.80	CUMPLE
4.5%	P1	75% - 25%	1178	12	CUMPLE	533.8	0.96	1130.88	3,710.24	CUMPLE
4.5%	P2	75% - 25%	1361	12	CUMPLE	574.5	0.83	1129.63	3,706.14	CUMPLE
4.5%	P3	75% - 25%	1189	11	CUMPLE	508.4	1.04	1236.56	4,425.77	NO CUMPLE
5.0%	P1	75% - 25%	1218	14	CUMPLE	522.7	1.00	1218.00	3,425.20	CUMPLE
5.0%	P2	75% - 25%	1219	13	CUMPLE	544.9	0.93	1133.67	3,433.28	CUMPLE
5.0%	P3	75% - 25%	1211	13	CUMPLE	556.5	0.89	1077.79	3,264.05	CUMPLE
5.5%	P1	75% - 25%	1197	15	CUMPLE	539.8	0.93	1113.21	2,921.81	CUMPLE
5.5%	P2	75% - 25%	1184	14	CUMPLE	472.1	1.14	1349.76	3,795.73	CUMPLE
5.5%	P3	75% - 25%	1127	14	CUMPLE	498.7	1.04	1172.08	3,296.06	CUMPLE
6.0%	P1	75% - 25%	1153	15	CUMPLE	551.9	0.89	1026.17	2,693.36	CUMPLE
6.0%	P2	75% - 25%	1121	14	CUMPLE	511.9	1	1121.00	3,152.42	CUMPLE
6.0%	P3	75% - 25%	1120	15	CUMPLE	515.2	1.00	1120.00	2,939.63	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, los resultados obtenidos por la muestra que es 50% cemento y 50% limaduras metálicas con respecto al total del filler se encuentran a continuación. Se observa que los valores de flujo comienzan a sobrepasar los límites en el último porcentaje de cemento asfáltico, y en las verificaciones del factor de rigidez, la mayoría cumple con los establecidos.

*Tabla N° 46: Resultados del Ensayo Marshall para muestras con 50% cemento y 50% limaduras respecto al porcentaje del filler*

**50% Cemento - 50% Limaduras**

PEN	Descripción		Estabilidad	Flujo (plg)	Verificación del flujo	Volumen	Factor de Corrección	Estabilidad Corregida	Factor de Rigidez	Verificación
	N°	Relación cem-lim								
4.0%	P1	50% - 50%	1230	13	CUMPLE	538.9	0.93	1143.90	3,464.26	CUMPLE
4.0%	P2	50% - 50%	1214	13	CUMPLE	471.3	1.14	1383.96	4,191.28	NO CUMPLE
4.0%	P3	50% - 50%	1222	14	CUMPLE	543.7	0.93	1136.46	3,195.89	CUMPLE
4.5%	P1	50% - 50%	1220	14	CUMPLE	510.1	1	1220.00	3,430.82	CUMPLE
4.5%	P2	50% - 50%	1212	15	CUMPLE	518.1	1.00	1212.00	3,181.10	CUMPLE
4.5%	P3	50% - 50%	1210	15	CUMPLE	532.6	0.96	1161.60	3,048.82	CUMPLE
5.0%	P1	50% - 50%	1190	15	CUMPLE	458.0	1.19	1416.10	3,716.80	CUMPLE
5.0%	P2	50% - 50%	1205	14	CUMPLE	488.4	1.09	1313.45	3,693.62	CUMPLE
5.0%	P3	50% - 50%	1160	16	CUMPLE	469.5	1.19	1380.40	3,396.65	CUMPLE
5.5%	P1	50% - 50%	1040	16	CUMPLE	477.7	1.14	1185.60	2,917.32	CUMPLE
5.5%	P2	50% - 50%	1052	17	NO CUMPLE	463.2	1.19	1251.88	2,899.21	CUMPLE
5.5%	P3	50% - 50%	1045	15	CUMPLE	539.9	0.93	971.85	2,550.79	CUMPLE
6.0%	P1	50% - 50%	1020	17	NO CUMPLE	505.1	1.04	1060.80	2,456.69	CUMPLE
6.0%	P2	50% - 50%	1009	18	NO CUMPLE	497.1	1.04	1049.36	2,295.19	CUMPLE
6.0%	P3	50% - 50%	1030	16	CUMPLE	505.3	1.04	1071.20	2,635.83	CUMPLE

*Fuente: Elaboración propia*

Continuando con los resultados, se presentan los valores del resultado del ensayo respecto a las muestras que contienen 25% cemento y 75% limaduras respecto al porcentaje total del filler.

Se observa en los resultados que el flujo no cumple para los últimos porcentajes de cemento asfáltico, pero las verificaciones de flujo sí para la mayoría de los casos.

*Tabla N° 47: Resultados del Ensayo Marshall para muestras con 25% cemento y 75% limaduras respecto al porcentaje del filler*

**25% Cemento - 75% Limaduras**

PEN	Descripción		Estabilidad	Flujo (plg)	Verificación del flujo	Volumen	Factor de Corrección	Estabilidad Corregida	Factor de Rigidez	Verificación
	N°	Relación cem-lim								
4.0%	P1	25% - 75%	1582	14	CUMPLE	601.8	0.78	1233.96	3,470.08	CUMPLE
4.0%	P2	25% - 75%	1543	15	CUMPLE	568.7	0.86	1326.98	3,482.89	CUMPLE
4.0%	P3	25% - 75%	1584	14	CUMPLE	610.1	0.78	1235.52	3,474.47	CUMPLE
4.5%	P1	25% - 75%	1475	14	CUMPLE	523.3	0.96	1416.00	3,982.00	CUMPLE
4.5%	P2	25% - 75%	1522	15	CUMPLE	544.2	0.93	1415.46	3,715.12	CUMPLE
4.5%	P3	25% - 75%	1453	15	CUMPLE	535.3	0.96	1394.88	3,661.10	CUMPLE
5.0%	P1	25% - 75%	1271	15	CUMPLE	605.9	0.78	991.38	2,602.05	CUMPLE
5.0%	P2	25% - 75%	1323	16	CUMPLE	606.9	0.78	1031.94	2,539.22	CUMPLE
5.0%	P3	25% - 75%	1264	16	CUMPLE	519.6	1.00	1264.00	3,110.24	CUMPLE
5.5%	P1	25% - 75%	1159	17	NO CUMPLE	538.5	0.93	1077.87	2,496.23	CUMPLE
5.5%	P2	25% - 75%	1205	15	CUMPLE	586.5	0.81	976.05	2,561.81	CUMPLE
5.5%	P3	25% - 75%	1148	17	NO CUMPLE	604.5	0.78	895.44	2,073.74	CUMPLE
6.0%	P1	25% - 75%	1085	17	NO CUMPLE	562.1	0.86	933.10	2,160.95	CUMPLE
6.0%	P2	25% - 75%	1012	18	NO CUMPLE	569.6	0.86	870.32	1,903.59	CUMPLE
6.0%	P3	25% - 75%	1085	16	CUMPLE	507.2	1.04	1128.40	2,776.57	CUMPLE

*Fuente: Elaboración propia*

Finalmente, los resultados para las muestras con 0% cemento y 100% limaduras metálicas con respecto al total del filler. Los resultados comprueban que el flujo cumple para los primeros porcentajes de PEN, pero no cumplen con la verificación del factor de rigidez, por el contrario, los últimos porcentajes que no cumplen el flujo, pero sí la verificación.

*Tabla N° 48: Resultados del Ensayo Marshall para muestras con 0% cemento y 100% limaduras respecto al porcentaje del filler*

<i>0% Cemento - 100% Limaduras</i>										
PEN	<i>Descripción</i>		<i>Estabilidad</i>	<i>Flujo (plg)</i>	<i>Verificación del flujo</i>	<i>Volumen</i>	<i>Factor de Corrección</i>	<i>Estabilidad Corregida</i>	<i>Factor de Rigidez</i>	<i>Verificación</i>
	N°	Relación cem-lim								
4.0%	P1	0% - 100%	1650	15	CUMPLE	503.3	1.04	1716.00	4,503.94	NO CUMPLE
4.0%	P2	0% - 100%	1723	14	CUMPLE	538.2	0.93	1602.39	4,506.16	NO CUMPLE
4.0%	P3	0% - 100%	1223	15	CUMPLE	532.6	0.96	1174.08	3,081.57	CUMPLE
4.5%	P1	0% - 100%	1540	15	CUMPLE	520.3	1	1540.00	4,041.99	NO CUMPLE
4.5%	P2	0% - 100%	1545	16	CUMPLE	514.9	1.00	1545.00	3,801.67	CUMPLE
4.5%	P3	0% - 100%	1703	16	CUMPLE	530.4	0.96	1634.88	4,022.83	NO CUMPLE
5.0%	P1	0% - 100%	1518	16	CUMPLE	595.3	0.81	1229.58	3,025.54	CUMPLE
5.0%	P2	0% - 100%	1583	17	NO CUMPLE	549.7	0.89	1408.87	3,262.78	CUMPLE
5.0%	P3	0% - 100%	1587	16	CUMPLE	519.8	1.00	1587.00	3,905.02	CUMPLE
5.5%	P1	0% - 100%	1350	18	NO CUMPLE	547.2	0.89	1201.50	2,627.95	CUMPLE
5.5%	P2	0% - 100%	1458	15	CUMPLE	568.6	0.86	1253.88	3,291.02	CUMPLE
5.5%	P3	0% - 100%	1315	17	NO CUMPLE	574.0	0.83	1091.45	2,527.67	CUMPLE
6.0%	P1	0% - 100%	1205	18	NO CUMPLE	566.9	0.86	1036.30	2,266.62	CUMPLE
6.0%	P2	0% - 100%	1140	17	NO CUMPLE	575.5	0.83	946.20	2,191.29	CUMPLE
6.0%	P3	0% - 100%	1100	17	NO CUMPLE	589.1	0.81	891.00	2,063.46	CUMPLE

*Fuente: Elaboración propia*

Acorde a los datos presentados, se ha analizado para cada variación de porcentaje de cemento y limaduras metálicas, y se ha encontrado la siguiente información.

*Tabla N° 49: Características Marshall de las briquetas*

<i>Características</i>	<i>Requisitos</i>	<i>Relación Cemento-Limaduras</i>				
		100% - 0%	75% - 25%	50% - 50%	25% - 75%	0% - 100%
<i>GOLPES</i>	50	50	50	50	50	50
<i>% C. A.</i>	-	5.50	5.40	5.45	5.55	5.85
<i>P. UNITARIO</i>	-	2.34	2.35	2.34	2.33	2.28
<i>% VACIOS</i>	3% - 5%	4.98	4.24	4.87	5.22	6.55
<i>V.M.A.</i>	Min 15	16.23	15.0	15.13	15.34	17.33
<i>V. LL.C.A.</i>	65-75	71.19	73.59	69.44	65.07	61.98
<i>POLVO / ASFALTO</i>	0.6-1.3	0.87	0.82	0.79	0.78	0.85
<i>FLUJO 0.01" (0.025mm)</i>	8 - 16	15.12	13.83	15.98	16.31	17.15
<i>ESTABILIDAD (Kg)</i>	5.44kN= 544Kg	1,113.29	1,243.87	1,265.06	1,175.41	1,192.96
<i>ESTABILIDAD/ FLUJO</i>	1700-4000	2,944.58	3,598.49	3,166.64	2,883.39	2,782.92

*Fuente: Elaboración propia*

A lo cual, el contenido óptimo de las briquetas convencionales es 5.5% y dentro de las briquetas experimentales, el grupo que mejor presenta resultados es la combinación de 75% cemento y 25% limaduras metálicas que tiene un contenido ideal de PEN de 5.4%.

## Ensayo Cántabro

El ensayo cántabro se realizó con el contenido ideal de las muestras convencionales y con el contenido ideal del grupo que mostró mejor resultado en el ensayo Marshall, que fue la de 75% cemento y 25% limaduras metálicas con respecto al porcentaje total del filler, y los resultados fueron los siguientes:

Para las briquetas convencionales se tuvo un desgaste del 4.45% en promedio.

*Tabla N° 50: Resultados del Ensayo Cántabro en briquetas patrón óptimo*

<b>BRIQUETAS PATRÓN</b>					
<i>Temperatura: 24°C</i>					
<i>Nombre de briketa</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Altura</i>	<i>Masa inicial (P1)</i>	<i>Masa final (P2)</i>	<i>Pérdida por desgaste (P)</i>
	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>gr</i>	<i>gr</i>	
Patrón 1	10.20	6.88	1,199.40	1,104.90	7.88%
Patrón 2	10.22	7.00	1,204.62	1,118.50	7.15%
Patrón 3	10.20	6.98	1,203.47	1,189.10	1.19%
Patrón 14	10.18	6.78	1,206.34	1,187.24	1.58%
promedio					4.45%

*Fuente: Elaboración propia*

Para las briquetas experimentales se tuvo un desgaste total del 3.15%.

*Tabla N° 51: Resultados del Ensayo Cántabro para briquetas experimentales óptimas*

<b>BRIQUETAS EXPERIMENTALES</b>					
<i>Temperatura: 24°C</i>					
<i>Nombre de briketa</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Altura</i>	<i>Masa inicial (P1)</i>	<i>Masa final (P2)</i>	<i>Pérdida por desgaste (P)</i>
	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>gr</i>	<i>gr</i>	
mod 1	10.15	7.00	1,202.53	1,120.70	6.80%
mod 2	10.10	7.00	1,199.82	1,180.48	1.61%
mod 3	10.18	6.90	1,204.13	1,187.30	1.40%
mod 4	10.12	6.56	1,211.81	1,178.10	2.78%
promedio					3.15%

*Fuente: Elaboración propia*

### Ensayo humedad inducida

Para briquetas convencionales se tiene los siguientes datos de entrada.

Se cuenta con un promedio de porcentaje de vacíos de 4.62%. Así mismo como con un promedio de 23.57cm<sup>3</sup> de volumen de vacíos de aire.

Tabla N° 52: Resultados de Ensayo Bulk para ensayo de Humedad Inducida en briquetas patrón óptimo

BRIQUETAS PATRÓN											
Temperatura: 24°C											
Nombre de briqueta	Diámetro	Altura	Peso de la briqueta en el aire	Peso saturado superficialmente seco	Peso sumergido en agua	Volumen (E)	Peso específico bulk	Peso unitario	Peso específico teórico máximo (rice)	Porcentaje de vacíos (Pa)	Volumen de vacíos de aire (Va)
	cm	cm	gr	gr	gr	gr	gr/cc	gr/cc	gr/cc	%	cm <sup>3</sup>
Patrón 6	10.22	6.75	1201.08	1210.6	699.84	510.76	2.352	1.716	2.471	4.840	24.72
Patrón 9	10.22	6.92	1203.99	1210	698.6	511.4	2.354	1.723	2.471	4.729	24.19
Patrón 10	10.25	6.95	1202.47	1212.1	699.97	512.13	2.348	1.718	2.471	4.985	25.53
Patrón 5	10.18	7.20	1205.54	1216.8	705.1	511.7	2.356	1.710	2.471	4.663	23.86
Patrón 8	10.30	6.90	1202.40	1210.1	702.04	508.06	2.367	1.713	2.471	4.230	21.49
Patrón 7	10.18	7.00	1201.90	1211.4	703.4	508	2.366	1.709	2.471	4.258	21.63
promedio										4.62	23.57

Fuente: Elaboración propia

Para las briquetas experimentales se tienen los siguientes datos de entrada.

Se cuenta con un promedio de porcentaje de vacíos de 4.89%. Así mismo como con un promedio de 25.60cm<sup>3</sup> de volumen de vacíos de aire.

*Tabla N° 53: Resultados de Ensayo Bulk para ensayo de Humedad Inducida en briquetas experimentales óptimas*

<i>BRIQUETAS EXPERIMENTALES</i>											
<i>Temperatura: 24°C</i>											
<i>Nombre de briqueta</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Altura</i>	<i>Peso de la briqueta en el aire</i>	<i>Peso saturado superficialmente seco</i>	<i>Peso sumergido en agua</i>	<i>Volumen (E)</i>	<i>Peso específico bulk</i>	<i>Peso unitario</i>	<i>Peso específico teórico máximo (rice)</i>	<i>Porcentaje de vacíos (Pa)</i>	<i>Volumen de vacíos de aire (Va)</i>
	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>gr</i>	<i>gr</i>	<i>gr</i>	<i>gr</i>	<i>gr/cc</i>	<i>gr/cc</i>	<i>gr/cc</i>	<i>%</i>	<i>cm<sup>3</sup></i>
Mod 5	10.18	7.05	1202.60	1212.9	695	517.9	2.322	1.730	2.435	4.640	24.03
Mod 7	10.16	6.97	1215.40	1215.1	690	525.1	2.315	1.761	2.435	4.947	25.98
Mod 10	10.32	6.57	1213.30	1212.6	690	522.6	2.322	1.758	2.435	4.657	24.34
Mod 6	10.31	6.79	1212.40	1213.6	690	523.6	2.316	1.757	2.435	4.910	25.71
Mod 8	10.18	6.83	1213.80	1212.1	685	527.1	2.303	1.772	2.435	5.432	28.63
Mod 9	10.26	6.96	1214.40	1213.6	690	523.6	2.319	1.760	2.435	4.753	24.89
promedio										4.89	25.60

*Fuente: Elaboración propia*

Así mismo, se ensayó a las muestras seleccionadas en el grupo seco, teniendo en cuenta el diámetro que poseen, espesor y la carga a la que resisten. se tuvo los siguientes resultados sobre el esfuerzo, en donde el promedio es 2.209Kpa.

*Tabla N° 54: Resultados del grupo seco de las briquetas patrón óptimas del Ensayo humedad inducida*

BRIQUETAS PATRÓN				
<i>Nombre de briqueta</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Espesor (t')</i>	<i>Carga máxima</i>	<i>Esfuerzo a la tensión</i>
	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>N</i>	<i>Kpa</i>
Patrón 6	10.22	6.75	242	2.233
Patrón 9	10.22	6.92	216	1.944
Patrón 10	10.25	6.95	274	2.449
promedio				2.209

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados de las briquetas experimentales sobre el esfuerzo en base a sus características físicas y la carga la que pueden resistir fueron los siguientes, en donde el promedio fue 2.213Kpa.

*Tabla N° 55: Resultados del grupo seco de las briquetas experimentales óptimas del Ensayo humedad inducida*

BRIQUETAS EXPERIMENTALES				
<i>Nombre de briqueta</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Espesor (t')</i>	<i>Carga máxima</i>	<i>Esfuerzo a la tensión</i>
	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>N</i>	<i>Kpa</i>
Mod 5	10.18	7.05	252	2.235
Mod 7	10.16	6.97	237	2.131
Mod 10	10.32	6.57	242	2.272
promedio				2.213

*Fuente: Elaboración propia*

Para el grupo que fue expuesto a ciclos de congelamiento y ambientes calientes, dentro de las briquetas patrón registraron las siguientes cifras, en donde el promedio fue 1.8Kpa.

Tabla N° 56: Resultados del grupo congelamiento-descongelamiento de las briquetas patrón óptimas del Ensayo humedad inducida

BRIQUETAS PATRÓN							
Nombre de briketa	Diámetro	Espesor (t')	Peso final SSD	Diámetro final	Alto final	Carga máxima	Esfuerzo a la tensión
	cm	cm	g	cm	cm	N	Kpa
Patrón 5	10.18	7.20	1222.57	10.28	7.26	201	1.731
Patrón 8	10.30	6.90	1218.72	10.38	6.93	208	1.855
Patrón 7	10.18	7.00	1219.15	10.27	7.05	205	1.818
promedio							1.80

Fuente: Elaboración propia

Y en el caso de las briquetas experimentales que pasaron por el mismo ciclo de las briquetas de la tabla anterior, se obtuvieron los siguientes resultados, en donde el promedio es 1.974Kpa.

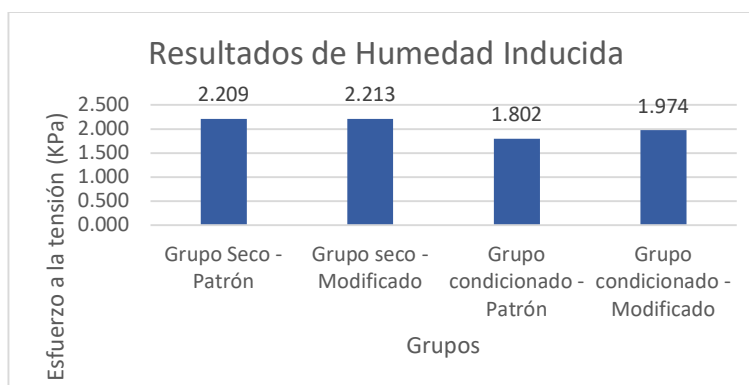
Tabla N° 57: Resultados del grupo congelamiento-descongelamiento de las briquetas experimentales óptimas del Ensayo humedad inducida

BRIQUETAS EXPERIMENTALES							
Nombre de briketa	Diámetro	Espesor (t')	Peso final SSD	Diámetro final	Alto final	Carga máxima	Esfuerzo a la tensión
	cm	cm	g	cm	cm	N	Kpa
Mod 6	10.31	6.79	1230.49	10.39	6.74	213	1.951
Mod 8	10.18	6.83	1232.14	10.26	6.91	225	2.036
Mod 9	10.26	6.96	1231.98	10.32	7.09	221	1.934
promedio							1.974

Fuente: Elaboración propia

A lo cual, al recolectar los resultados promedio de ambos grupos, se observa lo siguiente:

Diagrama N° 2: Resultados de Humedad Inducida



Fuente: Elaboración propia

El ensayo concluye con la comparación del grupo seco y del grupo que estuvo en las segundas condiciones, en donde se llegó al 81.57% en el caso de las briquetas patrón y a un 89.21% en el caso de las briquetas experimentales.

Tabla N° 58: Razón del esfuerzo en ensayo Humedad Inducida

Briquetas	Promedio del esfuerzo a la tensión del subgrupo seco (S1)	Promedio del esfuerzo a la tensión del subgrupo acondicionado (S2)	Razón del Esfuerzo a Tensión
	Kpa	Kpa	Kpa/Kpa
Patrón	2.209	1.802	81.57%
Experimentales	2.213	1.974	89.21%

Fuente: Elaboración propia

### Ensayo tracción indirecta

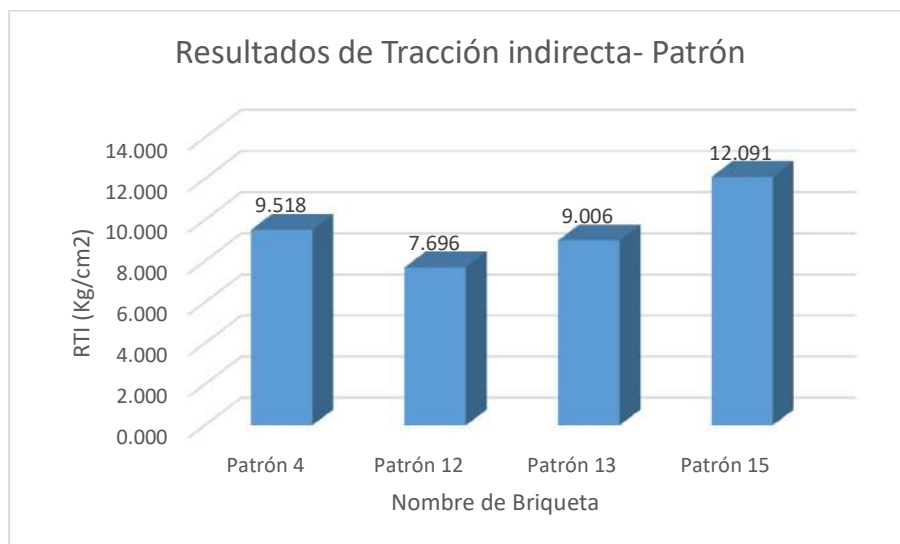
Los resultados para el ensayo de tracción indirecta para las briquetas convencionales óptimas son los mostrados a continuación, en lo cual el resultado promedio de la resistencia a la tracción es 9.577Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla N° 59: Resultado de Ensayo Tracción Indirecta para muestras convencionales

BRIQUETAS PATRÓN						
Tiempo Sumergido	Nombre de briqueta	Temperatura				RTI (Kg/cm <sup>2</sup> )
		25°C				
		Diámetro	Altura	Dial	Carga	
		cm	cm	kN	Kg	
6h	Patrón 4	10.20	6.98	315	1064.4	9.518
	Patrón 12	10.20	7.18	262	885.3	7.696
	Patrón 13	10.45	8.00	350	1182.7	9.006
	Patrón 15	10.10	6.87	390	1317.8	12.091
	prom					9.577

Fuente: Elaboración propia

Diagrama N° 3: Resultados del ensayo tracción indirecta para muestras patrón



Fuente: Elaboración propia

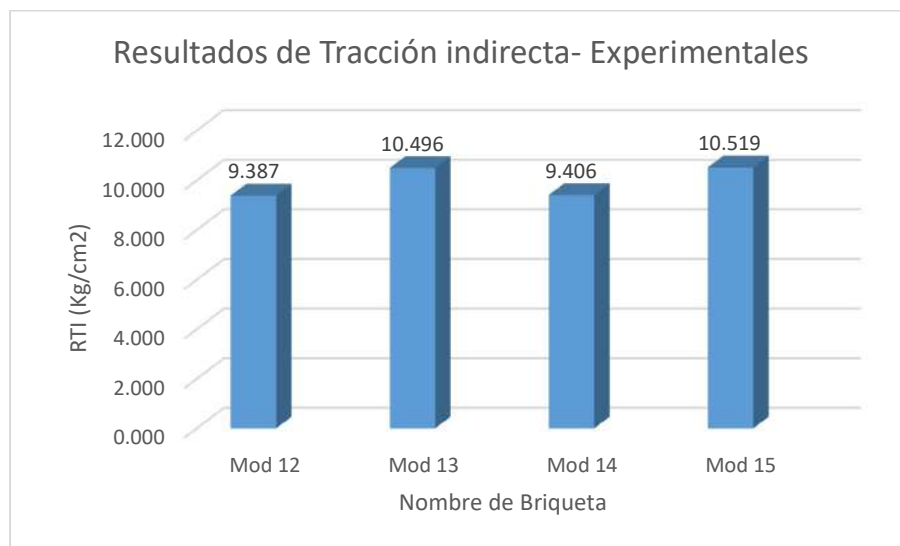
Los resultados para las briquetas experimentales óptimas son los siguientes, en la cual resalta que el promedio de la resistencia es 9.952 Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla N° 60: Resultado de Ensayo Tracción Indirecta para muestras experimentales

BRIQUETAS EXPERIMENTALES						
Tiempo Sumergido	Nombre de briqueta	Temperatura				RTI (Kg/cm <sup>2</sup> )
		25°C				
		Diámetro	Altura	Dial	Carga	
		cm	cm	kN	Kg	
6h	Mod 12	10.17	6.76	300	1013.7	9.387
	Mod 13	10.34	6.64	335	1132.0	10.496
	Mod 14	10.21	6.72	300	1013.7	9.406
	Mod 15	10.21	6.79	339	1145.5	10.519
	prom					9.952

Fuente: Elaboración propia

Diagrama N° 4: Resultado de Ensayo Tracción Indirecta para muestras experimentales



Fuente: Elaboración propia

### Evaluación económica

Se realizó la evaluación económica a la propuesta convencional de mezclas asfálticas, a lo cual resultó como total S/.826.11 por un metro cúbico de mezcla convencional.

Tabla N° 61: Precio de un metro cúbico de mezcla asfáltica convencional

Descripción	Unid	Cantidad	Precio		
			Unitario	Parcial	Total
<b>MATERIALES</b>					<b>993.66</b>
Cemento asfáltico	G1	15.3431	60.00	920.59	
Arena gruesa	m3	0.6163	47	29.27	
Piedra chancada 1/2"	m3	0.4727	68	32.14	
Cemento Portland tipo I	bol	0.3885	30.00	11.65	

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se realizó un análisis económico de las mezclas experimentales, que dan como total S/. 828.46 por un metro cúbico de mezcla modificada.

Tabla N° 62: Precio de un metro cúbico de mezcla asfáltica modificada

Descripción	Unid.	Cantidad	Precio		
			Unitario	Parcial	Total
<b>MATERIALES</b>					<b>991.21</b>
Cemento asfáltico	Gl	15.3431	60.00	920.59	
Arena gruesa	m3	0.6163	47.50	29.27	
Piedra chancada 1/2"	m3	0.4727	68.00	32.14	
Cemento Portland tipo I	bol	0.2913	30.00	8.74	
Limaduras metálicas	kg	0.6573	0.70	0.460	

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se realizó un Análisis de Precios Unitarios para la mezcla convencional, el cual resulta en S/57.11 por metro cuadrado.

Tabla N° 63: APU de mezcla asfáltica convencional

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>						
<b>PARTIDA:</b>		<b>Carpeta asfáltica en caliente de 2" c/Equipo Mezcla Adq.</b>				
<b>RENDIMIENTO:</b>		1250	m2/día			
				<b>Total S/. 57.11</b>		
Descripción	Unid.	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>1.29</b>
Operario	hh	1.00	0.0064	24.22	0.16	
Oficial	hh	2.00	0.0128	19.13	0.24	
Peón	hh	8.00	0.0512	17.29	0.89	
<b>MATERIALES</b>						<b>54.65</b>
Mezcla asfáltica en caliente convencional	m3		0.0550	993.66	54.65	
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>						<b>1.17</b>
Desgaste de herramientas	% MO		3.0000	1.29	0.04	
Rodillo neumático autoprepulsado 81-100hp 5.5-20tonhm	hm	1.00	0.0064	141.87	0.01	
Rodillo tandem estático a 58-70Hp, 8-10 ton	hm	1.00	0.0064	66.42	0.00	
Pavimentadora sobre orugas 69HP 10-16	hm	1.00	0.0064	174.95	1.12	

Fuente: Elaboración propia

Y de la misma manera con las mezclas modificadas, la cual resulta en S/.56.97 por metro cuadrado.

Tabla N° 64: APU de mezcla asfáltica modificada

<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>						
<b>PARTIDA:</b>		<b>Carpeta asfáltica en caliente de 2" c/Equipo Mezcla Adq.</b>				
<b>RENDIMIENTO:</b>		1250	m2/día			
				<b>Total S/.</b>		<b>56.97</b>
Descripción	Unid.	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>1.29</b>
Operario	hh	1.00	0.0064	24.22	0.16	
Oficial	hh	2.00	0.0128	19.13	0.24	
Peón	hh	8.00	0.0512	17.29	0.89	
<b>MATERIALES</b>						<b>54.52</b>
Mezcla asfáltica en caliente modificada	m3		0.0550	991.21	54.52	
<b>EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>						<b>1.17</b>
Desgaste de herramientas	% MO		3.0000	1.29	0.04	
Rodillo neumático autoprepulsado 81-100hp 5.5-20tonhm	hm	1.00	0.0064	141.87	0.01	
Rodillo tandem estático a 58-70Hp, 8-10 ton	hm	1.00	0.0064	66.42	0.00	
Pavimentadora sobre orugas 69HP 10-16	hm	1.00	0.0064	174.95	1.12	

Fuente: Elaboración propia

## Discusión

1. Según el primer objetivo específico el cual es caracterizar las limaduras metálicas y los agregados, los resultados obtenidos en la tabla N°24 sobre el análisis de las limaduras metálicas evidencian las propiedades metálicas que debe tener, así mismo que posee el tamaño de la partícula menor a 0.075mm, el cual al ser comparado con lo que estipula el Manual de carreteras, el indicador de que un material se pueda considerar como filler es que su partícula debe ser capaz de pasar por el tamiz N°200, lo cual sí es el caso. Además, los agregados han mostrado los siguientes resultados, y que han de ser comparados con lo que establece también el MC sobre parámetros aceptables para la utilización de material.

*Tabla N° 65: Comparación de resultados de ensayos de agregados y MC  
Altitud menor a 3.000m.s.n.m.*

<i>Tipo</i>	<i>Ensayos</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>Resultado</i>
<i>Agregado grueso</i>	Durabilidad al sulfato	18% Max	12%
	Abrasión	40% Max	12.50%
	Partículas chatas y alargadas	10% Max	5.70%
	Caras fracturadas	85/50	75.20%
	Sales solubles	0.5% Max	0%
	Absorción	1% Max	0.91%
<i>Agregado fino</i>	Equivalente de arena	60% Min.	76%
	Azul metileno	8 Max	1.2
	Índice de plasticidad	NP	NP
	Durabilidad al sulfato	-	15%
	Sales solubles	0.5% Max	0%
	Adsorción	0.5% Max	0.38%

*Fuente: Elaboración propia*

2. El segundo objetivo el cual es determinar el contenido ideal de asfalto para las mezclas, los resultados muestran que para las mezclas convencionales con filler de cemento es necesario 5.5% C.A. pero para las modificadas con limaduras metálicas como filler se pudo disminuir a 5.4% para que no solo cumplan con los requisitos mínimos sino lleguen a sus óptimos como se puede recopilar en la tabla N°55, datos que al ser comparados con la investigación realizada por Chavez[21] en la cual la muestra patrón con filler de cemento que realiza le resultó en 5.9% de C.A., además, en las muestras realizadas con cal como relleno mineral le resulta con 5.8% de C.A. y en las que utiliza sílice usa 6%

de C.A. demostrando que la cantidad del ligante varía acorde a los materiales utilizados y sus proporciones, que se reafirma en el Método Marshall, pues menciona que para cada conjunto de agregados y materiales se pueden elaborar muestras y a través de los parámetros del ensayo determinar el contenido de ligante que mejor ofrezca resultados.

3. Con respecto al tercer objetivo el cual es caracterizar las propiedades físicas y mecánicas, los ensayos realizados a las muestras fueron Marshall, cántabro, tracción indirecta y resistencia a la humedad inducida.

Dentro del ensayo Marshall se evalúan parámetros físicos como el % de vacíos de aire, en el cual los resultados muestran que para la muestra patrón contiene 4.98% y para las muestras experimentales óptimas tiene una reducción a 4.24%, así mismo, Chavez[21] determina que según el tipo de filler este valor cambia, siendo el del sílice 4%, el del cemento un 3.8% y para la cal 2.2% en sus valores óptimos de cada elemento, sin embargo, cuando se compara con la norma MC menciona que este valor debe oscilar entre el 3% hasta el 5%, caso por el cual los resultados de la presente investigación sí cumplen con lo especificado, y a pesar de cumplir las muestras con sílice y cemento del autor citado, las muestras realizadas con cal, no cumplen.

Además, en los resultados de la presente investigación, el flujo obtenido para las briquetas convencionales en su óptimo es 15.12 pul y para las briquetas experimentales óptimas es 13.83pul, y para Chavez[21] el flujo para el sílice, cemento y cal son 14, 11.5 y 14 pul respectivamente, el cual, si se compara con la normativa nacional, dice que debe estar entre 8pul hasta el límite de 16pul, por lo cual se certifica que entran en los parámetros.

De la misma manera, los resultados muestran que la estabilidad para briquetas convencionales es 1113.29kg con una relación estabilidad/flujo de 2944.58 kg/pul, así como para las experimentales óptimas de estabilidad 1243.87 Kg y relación estabilidad/flujo 3598.49kg/pul, y para Chavez[21] la estabilidad para la sílice, cemento y cal es 1371kg, 1125kg y 1385kg respectivamente, así como relación estabilidad/flujo es 3792kg/pul, 3840kg/pul y 3949kg/pul respectivamente; lo cual concuerda con la normativa del MC debido a que establece valores parámetro para la última relación mencionada el cual debe estar dentro de 1700kg/pul y 4000kg/pul.

En el ensayo cántabro las briquetas convencionales óptimas mostraron un promedio de desgaste de 4.45%, mientras que las experimentales óptimas un 3.15%, a su vez, el investigador Quispe[22] en sus briquetas convencionales mostró una pérdida aproximada de 5.42% y en sus modificadas de 3.97%, lo cual se verifica con las normas internacionales, que menciona que el máximo de desgaste que puede tener una muestra es 25%.

El ensayo de humedad inducida brinda los resultados de que la razón que tienen los esfuerzos de los grupos condicionados en muestras convencionales es 81.57% y en experimentales óptimas es 89.21%, y acorde a Chavez[21], en sus muestras convencionales de cemento obtiene 82.746%, en sus muestras con cal, 81.723% y en las de sílice, 58.078%; es importante recalcar que con respecto a estos valores se encuentra la norma AASHTO 283 que menciona que el mínimo en la relación es 80%, no cumpliendo este último.

En la tracción indirecta, los resultados promedio de la muestra convencional óptima es 9.577kg/cm<sup>2</sup>, y de las experimentales óptimas es 9.952kg/cm<sup>2</sup>, mientras que a Quisque[22], las muestras convencionales le salen un promedio de 11.28kg/cm<sup>2</sup> y 16.21kg/cm<sup>2</sup> en las modificadas, a lo cual la norma AASHTO menciona que los valores más altos corresponden a los que tienen menor porcentaje de huecos y temperatura de ensayo pues tiene influencia sobre las propiedades resilientes de las muestras.

4. El cuarto objetivo consiste en comparar las propiedades físicas y mecánicas entre sí, el cual dentro del ensayo Marshall, se evalúa cierta característica de la mezcla, la cual es el % de vacíos, en el cual los mejores resultados ofreció la modificada con 4.24%, el cual para Chavez[21] la mejor respuesta la da la muestra con el filler de sílice con 4%, teniendo en cuenta que la norma de MC menciona que los parámetros admisibles son de 3% a 5% para las mezclas asfálticas.

En la investigación, se obtuvieron mejores resultados con respecto al flujo en las muestras experimentales óptimas con 13.83pul, y para Chavez[21], fue 11pul con las muestras de filler de cemento, entrando a colación la norma del MC en el cual los parámetros deben estar entre 8pul a 16pul.

Con respecto a la relación estabilidad/flujo, se la llevó las modificadas óptimas con 3598.49 kg/pul y para Chavez[21] fue la muestra con cal que arroja 3949kg/pul, relacionando a la norma MC el cual establece que los valores deben oscilar entre 1700kg/cm<sup>2</sup> a 4000kg/cm<sup>2</sup>.

En el ensayo cántabro, los mejores resultados se obtuvieron con las mezclas experimentales óptimas con 3.15% de desgaste, y para el investigador Quispe[22] fue la muestra modificada que los obtuvo con 3.97%, resultados que traen a colación las normas internacionales que marcan el límite en 25%.

El ensayo de humedad inducida mostró sus mejores resultados en las muestras modificadas con 89.21% y en las del investigador Chavez[21] fueron las muestras con cemento con 82.746% en la relación de los esfuerzos que la norma AASHTO 283 determina que el mínimo aceptable es 80%.

Con respecto al ensayo de tracción indirecta se mostró que el porcentaje de vacíos disminuye de las mezclas convencionales a las modificadas, y a su vez aumenta los resultados de la resistencia a la tracción, así como al investigador Quispe [22] le sucede el mismo efecto que la del investigador, comprobando la norma AASHTO que menciona que existe una relación inversa entre el porcentaje de vacíos y temperatura de ensayo con los resultados del ensayo.

5. El quinto y último objetivo es comparar económicamente las mezclas asfálticas, el cual en la presente investigación se obtiene un total de S/. 57.11 por un metro cuadrado para la mezcla convencional y S/.56.97 por metro cuadrado para las modificadas, así como al investigador Puentes[23] calcula para las mezclas convencionales S/.53.83 por metro cuadrado y para sus mezclas modificadas con escamas S/.54.95 por metro cuadrado.

## Conclusiones

1. Se analizó la influencia de las limaduras metálicas en las propiedades físicas y mecánicas a lo cual se puede llegar en que sí influyen positivamente como es en los parámetros físicos, porcentaje de vacíos, parámetros Marshall, ensayo cántabro, ensayo de tracción indirecta y ensayo de humedad inducida, lo que señala que posee mayor resistencia y respuesta.
2. Se caracterizó la limadura metálica siendo su mayor componente el fierro con el 97%, además de caracterizar también a los materiales finos y gruesos de la mezcla, los cuales se comparó con los parámetros que establece la norma peruana sobre los agregados en mezclas asfálticas verificándose que están aptos para su uso y cumplen los estándares de calidad.
3. Se determinó el porcentaje de cemento asfáltico usando el tipo PEN 60/70 según las condiciones del clima de la zona de estudio para tanto las muestras convencionales como para las muestras modificadas en su filler por las limaduras metálicas, a lo cual resultó 5.5% para las primeras y este valor disminuyó a 5.4% indicando que se necesita menos contenido de este para obtener mejores resultados.
4. Se caracterizó las propiedades físicas y mecánicas tanto de las mezclas convencionales como las experimentales a lo cual se obtuvieron los resultados: El porcentaje de vacíos disminuyó de 4.98% a 4.24%, el flujo disminuyó de 15.12 pul a 13.83 pul, la estabilidad aumentó de 1113.23 Kg a 1243.87, aumentó la relación estabilidad/fluencia de 2944.58 kg/pul a 3598.49 kg/pul, mejoraron los resultados del ensayo de desgaste de 4.45% a 3.15%, para el ensayo de Lottman se mostró que mejoró la relación de esfuerzos de 81.57% a 89.21%, y en el ensayo de tracción indirecta se puede ver que aumentó un poco la resistencia de 9.577kg/cm<sup>2</sup> a 9.952kg/cm<sup>2</sup>.
5. Se comparó las propiedades físicas y las mecánicas de ambos tipos de mezcla y se puede concluir que en los ensayos realizados como los parámetros de Marshall como lo son el flujo y estabilidad, Cántabro, tracción indirecta y ensayo de Lottman, presentó mejoras en todos los casos la mezcla modificada que usa el 75% cemento y 25% limaduras metálicas respecto al total del filler frente a una mezcla convencional.

6. Se comparó económicamente ambas propuestas de mezclas asfálticas, en donde el análisis de precios unitarios para las mezclas convencionales es S/.57.11 por metro cuadrado y para las mezclas modificadas es S/56.97 por metro cuadrado cuando para ambos casos se asume un espesor de 2 pulgadas o 5 centímetros que es la medida usual de las carpetas asfálticas, por lo tanto, este último hace menos costosa la mezcla, pero en una diferencia pequeña.

## Recomendaciones

1. Se recomienda utilizar diferentes proporciones de limaduras metálicas como filler dentro de las mezclas asfálticas para ampliar la investigación y determinar si efectivamente la relación idónea del reemplazo es 75% cemento y 25% limaduras respecto al porcentaje total del filler o hay valores con mayor cantidad de cemento o mayor cantidad de limaduras sin tener que llegar a la muestra patrón o a la muestra estudiada donde la mitad corresponde a cemento y la otra a limaduras.
2. Se hace la invitación de realizar un estudio de caracterización de limaduras provenientes de otros trabajos de la siderurgia ya que la composición del polvo presenta variaciones según el material metálico del que proviene y la clase de trabajos que se realicen. Así mismo, se sugiere recolectar los agregados desde las canteras mismas, para tener mayor seguro sobre la calidad de estos.
3. Se sugiere continuar la investigación con diferentes porcentajes de filler con el fin de complementar la información obtenida y en su defecto, encontrar resultados más favorables, ya que al variar el porcentaje de filler con respecto a la mezcla total, cambia la relación y la cantidad de cemento asfáltico que se necesita para alcanzar las propiedades que poseen las mezclas asfálticas y ello impacta directamente en el desempeño que tienen.
4. Se hace la extensión de la invitación a los interesados a ampliar la investigación de la información recopilada con ensayos complementarios como el de La Rueda Cargada de Hamburgo, pues a pesar de que se realizaron diversos ensayos, no se realizó ese, pero se considera que brinda información importante a considerar ya que a través de este se puede determinar la profundidad máxima que tiene la deformación de las mezclas asfálticas.
5. Así mismo, se aconseja certificar los resultados recopilados en la investigación que se realizaron en un laboratorio con ambientes controlados y realizar un tramo de prueba a escala real de al menos un metro cuadrado a situaciones de exposición de clima de la zona con el fin de valorar la reacción de las zonas y el ahuellamiento producido, y determinar las diferencias entre estas dos condiciones.

6. Se recomienda también la investigación de otras maneras de calcular el Análisis de precios unitarios, ya que en la investigación se consideró que se realiza a través de rodillos tanto neumáticos como tándem y pavimentadores, pero también existen otras maneras de conseguir mezclas asfálticas como lo es el uso de plantas de asfalto y conlleva un análisis diferente de costos.

## Referencias

- [1] J. B. Cepeda Aldape, «Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas a fisuración por fatiga mediante la aplicación de un nuevo ensayo dinámico a tracción directa», <http://purl.org/dc/dcmitype/Text>, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), 2002. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=237522>
- [2] N. A. P. A. U.S. Department of Transportation, «HMA Pavement Mix Type Selection Guide», n.º 128. [En línea]. Disponible en: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/asphalt/HMA.pdf>
- [3] Comité técnico de ASEFMA, «Deterioros en los pavimentos. Influencia en la seguridad vial». 2012. [En línea]. Disponible en: <https://asefma.es/wp-content/uploads/2018/12/Fichas-de-deterioros-en-los-pavimentos-Introducción.pdf>
- [4] ALD Automotive, «Cómo afecta el mal estado de las carreteras a la seguridad en el vehículo», Peru. [En línea]. Disponible en: <https://www.aldautomotive.pe/sobreald/noticias/ArticleID/3124/Cómo-afecta-el-mal-estado-de-las-carreteras-a-la-seguridad-en-el-vehículo>
- [5] R. Harris, «Accidentes causados por carreteras en mal estado | Richard Harris Law Firm», Richard Harris Bufete de abogados de lesiones personales Las Vegas. [En línea]. Disponible en: <https://richardharrislaw.com/es/accidents-caused-by-bad-roads/>
- [6] El País, «El mal estado de carreteras y vehículos y el comportamiento al volante agudizan los accidentes de tráfico en África», El País. [En línea]. Disponible en: <https://elpais.com/planeta-futuro/2024-03-03/el-mal-estado-de-carreteras-y-vehiculos-y-el-comportamiento-al-volante-agudizan-los-accidentes-de-trafico-en-africa.html>
- [7] ASCE, «Nevada Infrastructure | ASCE's 2021 Infrastructure Report Card», ASCE's 2021 Infrastructure Report Card |. [En línea]. Disponible en: <https://infrastructurereportcard.org/state-item/nevada/>
- [8] D. Valdivia Blume, «Tragedias en las pistas del Perú: falta de fiscalización y exceso de velocidad han provocado decenas de muertes en últimos accidentes en carreteras del país», infobae. [En línea]. Disponible en: <https://www.infobae.com/peru/2024/05/15/tragedias-en-las-pistas-del-peru-falta-de-fiscalizacion-y-exceso-de-velocidad-han-provocado-decenas-de-muertes-en-ultimos-accidentes-en-carreteras-del-pais/>
- [9] A. Villantoy Gómez, «¿Por qué las carreteras en Perú se han convertido en escenarios frecuentes de accidentes mortales?», infobae. [En línea]. Disponible en: <https://www.infobae.com/peru/2024/05/15/por-que-las-carreteras-en-peru-se-han-convertido-en-escenarios-frecuentes-de-accidentes-mortales/>
- [10] Ministerio de Transportes y Comunicaciones y Observatorio Nacional de Seguridad Vial, «Boletín Estadístico de Siniestralidad Vial». 2021. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2182705/Boletín%20Estadístico%20Siniestralidad%20Vial%20I%20Semestre%202021.pdf>
- [11] Radio Nacional, «Carretera en mal estado por lluvias provocan accidentes de tránsito en Huancavelica», Radio Nacional. [En línea]. Disponible en: <https://radionacional.gob.pe/noticias/regionales/carretera-en-mal-estado-por-lluvias-provocan-accidentes-de-transito-en-huancavelica>
- [12] Defensoría del Pueblo, «Defensoría del Pueblo identifica 16 puntos críticos por vías en mal estado ubicadas en zona céntrica de Tarapoto», Defensoría del Pueblo - Perú. [En línea]. Disponible en: <https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-del-pueblo-identifica-16-puntos-criticos-por-vias-en-mal-estado-ubicadas-en-zona-centrica-de-tarapoto/>
- [13] Voces, «Mal estado de la calle ocasiona accidentes y se está convirtiendo en un basural», Diario Voces. [En línea]. Disponible en: <https://diariovoces.com.pe/mal-estado-de-la-calle-ocasiona-accidentes-y-se-esta-convirtiendo-en-un-basural/>

- [14] «Global stainless steel melt shop production 2021», Statista. [En línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/223028/world-stainless-steel-production/>
- [15] «¿Puede un residuo de la industria del acero convertirse en un material de construcción inteligente?», Interempresas. [En línea]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/348503-Puede-residuo-industria-del-acero-convertirse-material-construccion-inteligente.html>
- [16] MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, «INFORME N.º 003-2023/DGAA-DGA-xtapia». [En línea]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4339612/Informe.pdf?v=1680104861>
- [17] A. T. Tessema, N. M. Wolelaw, y G. A. Alene, «Experimental Evaluation of Coffee Husk Ash as a Filler in Hot Mix Asphalt Concrete Productions», *Advances in Civil Engineering*, vol. 2022, p. e6726700, sep. 2022, doi: 10.1155/2022/6726700.
- [18] O. F. L. Garzon y D. A. R. Felix, «ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON LLENANTE MINERAL DE CENIZA DE LA CASCARILLA RESULTANTE DE LA MOLIENDA DEL ARROZ», 2020, [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/580ede67-4fde-47bc-a445-934db827e872/content>
- [19] L. C. Cabezas Cardenas y E. H. Sandoval Suarez, «Evaluación del comportamiento de una mezcla asfáltica con adición de Filler de residuos de mampostería.», Thesis, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/7460>
- [20] L. M. Quispe Chacon, «Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con incorporación de residuos de PVC como Filler en un porcentaje óptimo», abr. 2021, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4588>
- [21] H. P. Chavez Cervantez y A. Pezo Irazabal, «Propuesta Teórica de Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente producida a Temperatura Ambiente Menor a Seis Grados Centígrados en Perú». 2020. [En línea]. Disponible en: [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653121/Chavez\\_CH.pdf?sequence=3](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653121/Chavez_CH.pdf?sequence=3)
- [22] M. Quispe Aslla, «Influencia en las propiedades mecánicas y durabilidad de la mezcla asfáltica con sustitución parcial de poliestireno expandido». 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20350>
- [23] J. Puente Ganz, «ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS ASFALTADAS». 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1856>
- [24] P. M. Iberico Vigo, «Diseño de mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo marshall adicionando fibra de acero en la ciudad de Yurimaguas – 2019», *Repositorio Institucional - UCV*, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58855>
- [25] R. N. Salvador Reyes, «Análisis de mezclas asfálticas utilizando residuos de construcción y demolición como filler». 2023. [En línea]. Disponible en: [https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/6903/1/TIB\\_SalvadorReyesRuth.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/6903/1/TIB_SalvadorReyesRuth.pdf)
- [26] M. L. Larrea Saldaña, «Diseño de mezcla asfáltica adicionando cenizas de cascarilla de oryza sativa, Chiclayo – Lambayeque», *Repositorio Institucional - USS*, 2023, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11112>
- [27] A. Padilla Rodriguez, «CAPÍTULO 3. MEZCLAS ASFÁLTICAS. Alejandro Padilla Rodríguez». [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/5916386-Capitulo-3-capitulo-3-mezclas-asfalticas-alejandropadilla-rodriguez-39.html>

- [28] C. VISE, «Conoce las características del asfalto». [En línea]. Disponible en: <https://blog.vise.com.mx/conoce-las-características-del-asfalto>
- [29] «EMULSIONES ASFALTICAS», Construya Tecnología. [En línea]. Disponible en: <https://mantoasfálticoconstruya.com.pe/productos-mantos-asfálticos/emulsiones-asfálticas-venta/>
- [30] J. D. Pinto, «Para Que Sirve El Asfalto Líquido?», CLT Livre. [En línea]. Disponible en: <https://cltlivre.com.br/blog/construc-a-o/para-que-sirve-el-asfalto-liquido.html>
- [31] «Asfalto líquido, cemento asfáltico y emulsión asfáltica», Asfaltoperú. [En línea]. Disponible en: <https://www.asfaltoperu.com/tipos-de-asfalto-en-el-peru/>
- [32] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, «Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción». 2013. [En línea]. Disponible en: [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Técnicas%20Generales%20para%20Construcción%20-%20EG-2013%20-%20\(Versión%20Revisada%20-%20JULIO%202013\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Técnicas%20Generales%20para%20Construcción%20-%20EG-2013%20-%20(Versión%20Revisada%20-%20JULIO%202013).pdf)
- [33] D. R. López Caiza, «Mejoramiento de la carpeta asfáltica a base de escoria siderúrgica para pavimentos flexibles (mezcla asfáltica)», bachelorThesis, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14565>
- [34] «CEMENTO», AGROBAYERLOMEJOR. [En línea]. Disponible en: <https://agrobayerlomejor.com/producto/cemento/>
- [35] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, «MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES». 2016. [En línea]. Disponible en: [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_3729.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf)
- [36] INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, «MANUAL DE ENSAYOS PARA LABORATORIO: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS». 2019. [En línea]. Disponible en: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt551.pdf>
- [37] P. G. Hewitt, «Física Conceptual», *A. C.*, n.º 1.
- [38] J. C. Chileno Quispe, «Uso de limaduras de fierro de estructuras metálicas para la elaboración de concreto pesado en la ciudad de Huancayo 2017», *Universidad Nacional del Centro del Perú*, 2019, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5941>
- [39] UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN, «Magnetismo», en *Física*, SECRETARÍA ACADÉMICA, pp. 145-147. [En línea]. Disponible en: [http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020124179/1020124179\\_019.pdf](http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020124179/1020124179_019.pdf)
- [40] COORDINACIÓN GENERAL DE MINERÍA, «PERFIL DEL MERCADO HIERRO-ACERO». SECRETARÍA DE ECONOMÍA, 2013. [En línea]. Disponible en: [https://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/minero/pm\\_hierro\\_acero\\_1013.pdf](https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_hierro_acero_1013.pdf)
- [41] E. Rivera, «Metodo de ensayo estandar para densidad bulk y vacios de agregados», [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/28889813/Metodo\\_de\\_ensayo\\_estandar\\_para\\_densidad\\_bulk\\_y\\_vacios\\_de\\_agregados](https://www.academia.edu/28889813/Metodo_de_ensayo_estandar_para_densidad_bulk_y_vacios_de_agregados)
- [42] «NORMA ASTM D 2041. Método estándar de prueba para Gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación».
- [43] ASTM D4867, «Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures». 2014.

## Anexos

*Anexo N° 1: Validación de ensayos de laboratorio USAT*

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

INFORME N° **LEM USAT 037-2024-I**

FECHA: **24 de Mayo del 2024**

## VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

**ESTUDIANTE:** Karla Nahomy Fernandez Failoc

**TITULO DE LA TESIS:** Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023

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:

- Ensayo de caracterización de limaduras metálicas
- Granulometría
- Abrasión
- Contenido de humedad
- Peso específico y absorción
- Sales solubles
- Gravedad específica
- Equivalente de arena
- Ensayo de plasticidad
- Azul metileno
- Durabilidad al sulfato de Magnesio
- Ensayo de chatas alargadas
- Ensayo de caras fracturadas
- Ensayo Marshall
- Ensayo Cántabro
- Ensayo resistencia a la humedad inducida
- Ensayo de Tracción indirecta



Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto

Henry Rivadeneyra Oblitas  
 Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental

## Anexo N° 2: Propiedades fisicoquímicas de las limaduras metálicas

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189



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

SOLICITANTE	: KARLA NAHOMY FERNANDEZ FAILOC
TESIS	: Influencia de la Limadura de Metalicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023
MUESTRA	: Residuos Metalicos (Limadura de Hierro)
PROCEDENCIA	: Lambayeque-Chiclayo
CANTIDAD	: 500 g
PRESENTACION	: BOLSA HERMETICA
FECHA DE INGRESO	: 08 DE NOVIEMBRE DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

## Propiedades Físico Químicas

Composición:	Carbono .....	0.30 %
	Manganeso.....	1.72%
	Fosforo .....	0.04 %
	Silicio .....	0.55 %
	Azufre .....	0.04 %
	Hierro .....	97.3 %
Color:	Gris oscuro	
Olor	Característico	
Aspecto:	Polvo	
PH:	N.D	
Densidad: kg/L (20°C)	7.868	
Temperatura de Ebullición	2873 °C	
Punto de fusión	1534 °C	
Presión de vapor	1.0 mmHg a 1787 °C	
Solubilidad	Insoluble en agua	

CONCLUSIONES: La muestra es conforme con las especificaciones establecidas del cliente.  
TRUJILLO, 14 DE NOVIEMBRE DEL 2023



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

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

Anexo N° 3: Análisis granulométrico

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

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS**  
 MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

**TEMA:** Influencia del polvo de caucho y plástico reciclado en la mejora de las propiedades físico-mecánicas de la mezcla de asfalto.  
**MATERIAL:** Mezcla de agregados y Cal  
**CANTERA:** Tres Tomas - Ferrafafe  
**TESISTA:** Claudia Pamela Chávez Samané

**DATOS DE DISEÑO**

Grosa Chancada 3/4"	43%
Araya Chancada 1/2"	57%

**TAMAÑO MÁXIMO:** 1/2"  
**Peso inicial seco:** 4000 g

**CONDICIONES TÉCNICAS**

TAMM	APARATO T-01 (mm)	PESO RETENIDO	PERCENTAJE RETENIDO	PERCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000				MAC - 2	
3/4"	19.000	9.00	0.8	0.8	100	
1/2"	12.500	425.22	15.6	15.6	80	100
3/8"	9.500	453.14	11.3	27.0	70	88
N° 4	4.750	640.60	16.0	43.0	51	68
N° 10	2.000	449.77	11.2	54.2	38	52
N° 40	0.425	1.003.80	25.1	79.3	17	28
N° 80	0.177	395.35	9.9	89.2	8	17
N° 200	0.075	204.25	5.1	94.3	4	8
< N° 200	FONDO	227.87	5.7	100.0		

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

**Observación:**

*Henry*  
 Rivadencya  
 Oblitas  
 Tec. Laboratorio  
 USAT

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

REGISTRO DE LABORATORIO

### Anexo N° 4: Ensayo de Abrasión

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

Tesista : Fernandez Failoc, Karla  
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Influencia de las lamaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023  
Lugar : Chiclayo- Lambayeque  
Fecha de ensayo : Chiclayo 20 de octubre del 2022

**ENSAYO** : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

**REFERENCIA** : Norma MTC E 207 / ASTM C-131

**Cantera** : Cantera Tres Tomas

**Muestra** : Agregado grueso

% de desgaste por abrasión	%	12.5
% de uniformidad	%	0.2

Requerimiento : 40 % Maximo

**OBSERVACIONES :**

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", Nº de esferas : 11, Revoluciones : total 500



Anexo N° 5: Peso específico y absorción

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

**Tesista** : Fernandez Failoc, Karla Nahomy  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 22 de Septiembre del 2023

**Ensayo** : Peso específico y Absorción del agregado fino

**Referencia** : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

**Cantera** : Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo.

**I.- Datos.**

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + P	(g)	<b>978.7</b>	<b>978.7</b>
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	673.1	673.1
3.- Peso del Agua	(g)	305.62	305.62
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	671.22	671.22
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>173.1</b>	<b>173.1</b>
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	<b>498</b>	<b>498</b>
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

**II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.563</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.572
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.588
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.38</b>

**Ensayo** : Peso específico y Absorción del agregado grueso

**Referencia** : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

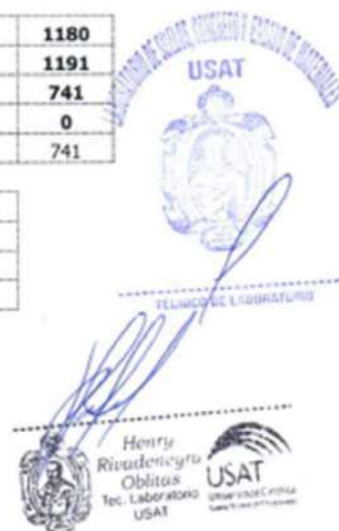
**Cantera** : Piedra Chancada - Tres Tomas

**I.- Datos.**

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	<b>1180</b>	<b>1180</b>
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	<b>1191</b>	<b>1191</b>
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del can	(g)	<b>741</b>	<b>741</b>
4.- Peso de la canastilla	(g)	<b>0</b>	<b>0</b>
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	741	741

**II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.624</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.648
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.688
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.91</b>



Anexo N° 6: Ensayo Contenido de humedad

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

**Tesista** : Fernandez Failoc, Karla Nahomy  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023

**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 22 de Septiembre del 2023

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado fino  
**Referencia** : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Arena Amarilla - Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>2000</b>	<b>2000</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>1995</b>	<b>1995</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.25	0.25
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.25</b>	

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado grueso  
**Referencia** : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Piedra Chancada - Tres Tomas

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>1190.7</b>	<b>1190.7</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>1180</b>	<b>1180</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.9	0.9
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.91</b>	



Henry Rixadencgra Oblitos  
Tec. Laboratorio USAT

## Anexo N° 7: Ensayo de Sales en Agregado Grueso

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

**Tesista** : Fernandez Failoc, Karla Nahomy  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023  
**Lugar** : Chiclayo- Lambayeque  
**Fecha de ensayo** : Chiclayo 15 de Septiembre del 2023

**ENSAYO** : SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterránea.

**REFERENCIA** : NTP 339.152 / USBR E - 8

<u>Cantera</u>	: Tres Tomas	
<u>Muestra</u>	: Piedra	
Constituyentes de sales solubles totales	ppm	0
Constituyentes de sales solubles totales	%	0.00

### OBSERVACIONES :

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

  
 USAT  
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

  
 Henry Rivadeneyra Oblitas  
 Tec. Laboratorio USAT

  
 USAT  
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

Anexo N° 8: Ensayo de sales en agregado fino

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

**Tesista** : Fernandez Failoc, Karla Nahomy  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023  
**Lugar** : Chiclayo- Lambayeque  
**Fecha de ensayo** : Chiclayo 15 de Septiembre del 2023

**ENSAYO** : SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterránea.

**REFERENCIA** : NTP 339.152 / USBR E - 8

<u>Cantera</u>	: La Victoria - Patapo
<u>Muestra</u>	: Arena
Constituyentes de sales solubles totales	ppm 0
Constituyentes de sales solubles totales	% 0.00

**OBSERVACIONES :**

1) Muestreo e identificación realizado por el Solicitante

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

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

  
 TÉCNICO DE LABORATORIO

  
 Henry Rivadeneira Oblitas  
 Tec. Laboratorio USAT

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

Anexo N° 9: Ensayo de gravedad específica



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



Tesista : Fernandez Fallo, Karla Nahomy  
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mez asfálticas 2023  
Lugar : Distrito de Chiclayo, Chiclayo, Lambayeque  
Fecha de emisión : Chiclayo, 5 de Octubre del 2023

ENSAYO : Peso específico relativo de sólidos ( $G_s$ )-Material que pasa la malla N° 4  
REFERENCIA : NTP 338.131 ASTM D - 854

		Datos
1. N° de fiola		F-2
2. Peso de la fiola	g.	173.1
3. Peso de la muestra de suelo - seco	g.	50.0
4. Peso de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (2+3)	g.	223.1
5. Peso de la muestra + Fiola + agua	g.	874.6
6. Peso de la fiola + peso de agua	g.	871.3
7. Peso específico relativo de sólidos ( $G_s$ )	$(3)/(3+6)-5$ g/cm <sup>3</sup>	1.070

OBSERVACIONES :

- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del Laboratorio.



Anexo N° 10: Ensayo Equivalente de Arena

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIVIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

(Pag. 01 de 01)

Tesista : Fernandez Failoc, Karla Nahomy  
Escuela : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL  
Tesis : Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023  
Lugar : Chiclayo- Lambayeque  
Fecha de emisión : Chiclayo, 10 de Octubre del 2023

Ensayo : SUELOS. Metodo de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.  
Referencia : NTP 339,145 - EG - 2000

EXAMEN CUANTITATIVO

Muestra : Arena  
Cantera : La Victoria

I.- DATOS

MUESTRA N°	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	N° 4	N° 4	N° 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	5.80	5.50	5.70
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	4.40	4.20	4.30
EQUIVALENTE DE ARENA	75.86 %	76.36 %	75.44 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	76 %		
ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000):			
Minimo : 60 % Minimo			

OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizados por el Solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



Anexo N° 11: Ensayo Índice de plasticidad por el tamiz N°40



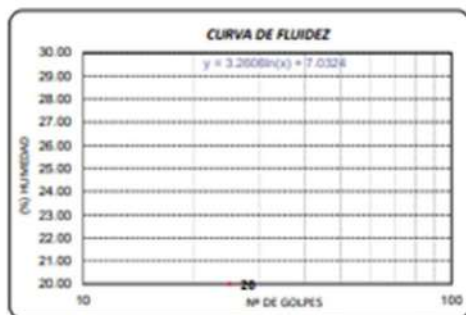
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Fernandez Failoc, Karla Nahomy  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : "Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023".  
**Lugar** : Chiclayo- Lambayeque  
**Fecha** : 04/09/2023  
**Ensayo** : Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.) (I.P.) malla N° 40.  
**Norma** : MTC E 111

Datos de ensayo	Límite líquido			Límite Plástico	
	R-1	E-10	F-4	L-10	
N° de tarro					
N° de golpes	35	25	15		
Tarro + suelo húmedo	18.07	18.18	17.2	15.14	
Tarro + suelo seco	16.44	16.49	15.87	13.98	
Agua	1.63	1.69	1.33	1.16	
Peso del tarro	7.37	7.41	7.37	7.36	
Peso del suelo seco	9.07	9.08	8.5	6.62	
Porcentaje de humedad	17.97	18.61	15.85	17.52	

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



**Observaciones:**

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



Henry Rivadeneira Oblitas  
Tec. Laboratorio USAT

Anexo N° 12: Ensayo Índice de plasticidad por el tamiz N°200



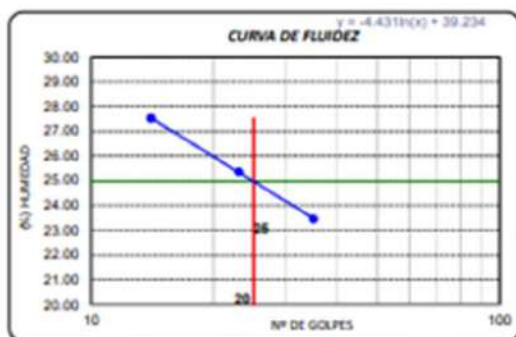
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tesista** : Fernandez Failoc, Karla Nahomy  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Testis** : "Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023".  
**Lugar** : Chiclayo- Lambayeque  
**Fecha** : 04/09/2023  
**Ensayo** : Determinación del límite plástico (I.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.) (I.P.) malla N° 200.  
**Norma** : MTC E 111

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

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



Observaciones:



Henry  
Rivadeneira  
Oblitas  
Tec. Laboratorio  
USAT

## Anexo N° 13: Ensayo Azul Metileno



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



Tesista : Fernandez Failoc, Karla Nahomy  
Escuela : Ingeniería Civil Ambiental  
Tesis : Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023  
Lugar : Chiclayo, Lambayeque

**AZUL DE METILENO**  
(NORMA: AASHTO TP 57)

REFERENCIA DE LA MUESTRA  
CANtera : La Victoria  
APLICACIÓN : ASFALTO

MUESTRA M-01

FECHA DE ENSAYO martes, 3 de Octubre de 2023

MUESTRA	Azul de Metileno	Cantidad de Solución	Peso del Material Fino (N° 200)	Resultado	Especificación EG-213	
	Cada	NÚMERO			Min.	Máx.
AGREGADO FINO - pasa 200	Cada 0.5 ml	6.0	5.0	1.2	-	8
		6.0	5.0	1.2		

RESULTADOS PROMEDIOS : 1.2

FORMULA DE APLICACIÓN

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



Henry Rivadeneira Obitas  
Téc. Laboratorio USAT

Anexo N° 14: Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio en agregado fino

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

(Pág. 01 de 01)

**TESISTA** : Fernandez Failoc, Karla Nahomy  
**ESCUELA** : UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
**TESIS** : Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023

**Lugar** : DISTRITO DE Chiclayo, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 08 de noviembre del 2023

**Ensayo** : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad  
**Referencia** : de agregados por metodo de sulfato de sodio o sulfato de magnesio  
**Referencia** : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

**EXAMEN CUANTITATIVO**

**Cantera** : Cantera La Victoria

**Muestra** : Arena gruesa

I.- DATOS

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
3/8"	Nº 4	1.9
9.5 mm	4.75 mm	
Nº 4	Nº 8	2.4
4.75 mm	2.36 mm	
Nº 8	Nº 16	2.2
2.36 mm	1.18 mm	
Nº 16	Nº 30	2.3
1.18 mm	600 µm	
Nº 30	Nº 50	1.9
600 µm	300 µm	
Nº 50	Nº 100	1.9
300 µm	150 µm	

II.- RESULTADO

DESGASTE TOTAL	(%)	15.0
----------------	-----	------

**OBSERVACIONES :**

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



TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas  
Tec. Laboratorio USAT



Anexo N° 15: Ensayo Durabilidad al sulfato de magnesio en agregado grueso

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

TESISTA : Fernandez Failoc, Karla Nahomy  
ESCUELA : INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL  
TESIS : Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023  
Fecha de ensayo : Chiclayo 08 de noviembre del 2023

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por metodo de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

**EXAMEN CUANTITATIVO**

Cantera : Tres Tomas  
Muestra : Piedra chancada

I.- DATOS :

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
2"	1 1/2"	0.0
50 mm	37.5 mm	
1 1/2"	3/4"	7.1
37.5 mm	19 mm	
3/4"	1/2"	3.1
19 mm	12.5 mm	
1/2"	3/8"	2.1
12.5 mm	9.5 mm	
3/8"	N° 4	
9.5 mm	4.75 mm	

II.- RESULTADO :

DESGASTE TOTAL	(%)	12.2
----------------	-----	------

OBSERVACIONES :

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



TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivadeneira Oblitas  
Tec. Laboratorio USAT



Anexo N° 16: Resultados de caras rajadas, desmoronadas, fracturadas o astilladas

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

(Pág. 02 de 02)

TESISTA : Fernandez Failoc, Karla Nahomy  
ESCUELA : INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL  
TESIS : Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023  
#<sub>i</sub>REF! : #<sub>j</sub>REF!  
Fecha de ensayo : Chiclayo 08 de noviembre del 2023

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por metodo de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

EXAMEN CUALITATIVO DEL AGREGADO GRUESO EN PARTÍCULAS QUE EXHIBEN FALLA

Cantera : Tres Tomas  
Muestra : Piedra chancada

Tamices		Rajadas		Desmoronadas		fracturadas		Astilladas		N° total de partículas antes del ensayo
pasa	retiene	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	
2 1/2"	2"	0	0	0	0	0	0	0	0	
2"	1 1/2"	0	0	0	0	0	0	0	0	
1 1/2"	3/4"	0	0	0	0	0	0	0	0	

OBSERVACIONES :

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

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
USAT  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES  
TECNICO DE LABORATORIO  
Henry Rivadenegra Oblitas  
Tec. Laboratorio USAT  
USAT Universidad Católica Santa Teresita de Mogrovejo

Anexo N° 17: Resultados de ensayo de partículas chatas y alargadas



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MORGON  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENMAJES DE SATEVALES



**Título** : Fernandez Parke, Karlo Nohemy  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Influencia de las laminares metálicas como filtro en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas sediticas 2023  
**Lugar** : Chiclayo- Lambayeque  
**Fecha de ensayo** : Chiclayo, 19 de Octubre del 2023  
**Ensayo** : Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras  
**Referencia** : Norma MTC E 221  
**Carerra** : Tres Torres  
**Muestra** : Piedra Chancada

INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS

PESO MUEST. SECA : 2500.0 g

TAMIZ		PESO MÍN. PARA SUBDIVISIÓN	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RET. ACUMULADO	% QUE PASA
Polg.	Mm.					
2 1/2"	63.000	---	---	---	---	---
2"	50.000	50 kg	---	---	---	---
1 1/2"	37.500	35 kg	---	---	---	---
1"	25.000	15 kg	---	---	---	---
3/4"	19.000	5 kg	---	---	---	100.0
1/2"	12.500	2 kg	1015.5	40.6	40.6	59.4
3/8"	9.500	1 kg	934.3	37.4	78.0	22.0
1/4"	6.300	0.3 kg	417.0	16.7	94.7	5.3
N° 04	4.750	---	102.8	4.1	98.8	1.2
<b>FONDO</b>		---	28.8	1.2	100.0	0.0

TAMIZ		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS		
Polg.	Mm.	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO RET.	% RET.	% PASA
2 1/2"	63.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2"	50.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	37.500	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1"	25.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/4"	19.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2"	12.500	1015.5	40.6	59.4	0.7	1.0%	0.4%	3.00	0.3%	0.3%
3/8"	9.500	934.3	37.4	22.0	106.8	11.4%	4.5%	15.83	1.7%	0.7%
1/4"	6.300	417.0	16.7	5.3	---	---	---	---	---	---
Menor 1/4"	---	---	5.3	1.2	---	---	---	---	---	---
<b>TOTAL</b>		<b>2366.8 g.</b>	<b>100.0 %</b>	<b>0.0</b>	<b>116.5 g.</b>	<b>12.4%</b>	<b>4.9%</b>	<b>18.9 g.</b>	<b>2.0%</b>	<b>0.8%</b>
		<b>PESO TOTAL DE LA MUESTRA =</b>						<b>2366.8 g.</b>		
		<b>PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS =</b>						<b>6.7 %</b>		



TECNICO LABORATORIO



Henry  
Rivadeneira  
Obispo  
Téc. Laboratorio  
USAT



## Anexo N° 18: Ensayo de caras fracturadas



UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ TORIBO DE ESCOBEDO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



**Tecnicista** : Fernández Fajó, Karla Nahemy  
**Escuela** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tema** : Influencia de las Sras de metales como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023  
**Lugar** : Chiclayo-Lambayeque  
**Fecha de ensayo** : Chiclayo, 24 de Octubre del 2023  
**Ensayo** : Método de ensayo estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso  
**Referencia** : Norma MTC E 210  
**Cantera** : Tres Torresas  
**Muestra** : Piedra Chancada

**MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO**

**A.- CON UNA CARA FRACTURADA.**

TAMIZ	PESO MÍNIMO REQUERIDO	PESO MUESTRA A	PESO CON UNA CARA FRACT. B	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA C = (B/A)*100	PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS E = C * D
PASA	RETIENE					
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---
1"	3/4"	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	1200.0 g	1200.0	930.2	77.5 %	1200.0 %
1/2"	3/8"	300.0 g	300.0	198.1	66.0 %	198.1 %
<b>TOTAL</b>		<b>1500.0 g.</b>	<b>1500.0 g.</b>	<b>1128.2 g.</b>		<b>1500.0 %</b>

PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA = 75.2%

**B.- CON DOS CARAS FRACTURADAS.**

TAMIZ	PESO MÍNIMO REQUERIDO	PESO MUESTRA A	PESO MATERIAL CON DOS CARAS FRACT. B	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADA C = (B/A)*100	PORCENTAJE RET. GRADACIÓN ORIGINAL D	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS E = C * D
PASA	RETIENE					
2"	1 1/2"	---	---	---	---	---
1 1/2"	1"	---	---	---	---	---
1"	3/4"	---	---	---	---	---
3/4"	1/2"	1200.0 g	1200.0	846.0	70.5 %	1200.0 %
1/2"	3/8"	300.0 g	300.0	238.1	79.4 %	238.1 %
<b>TOTAL</b>		<b>1500.0 g.</b>	<b>1500.0 g.</b>	<b>1084.1 g.</b>		<b>1500.0 %</b>

PORCENTAJE CON DOS CARAS FRACTURADAS = 72.3%



TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Rivas Encyru Oblitos  
Tec. Laboratorio USAT



Anexo N° 19: Resultados de ensayo Marshall para muestras patrón

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

USAT

IDENTIFICACION DE CONCRETO ARMADO  
METODO MARSHALL - ASTM D 1558 AASTHO T 346

TIPO: Influencia de las brevedades metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2021.

CANTERA: Tres Torres - Paredale

INGENIERO: Fernando Fabre, Karla Nahuay

Grava Chica 1/2" 40%  
Grava Chica 3/8" 50%

Grava de Muestras 1000  
Peso de C.A. 80 **+ 0.30%**  
Peso del Cemento 1500  
Peso Total de la Mezcla Asfáltica 3900

CEMENTO ASFALTICO PER 60/70

Muestra	% Muestr. N. Doble	% Grad. Paso al Tam. 60							
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº5	Nº10	Nº20	Nº40
A. Arena Fina/Grava	42.57	41.25							
B. Arena	56.53	53.78							
C. Filler	1	4.98							

Muestra	Espesif. Relativa	Ponderaciones							
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº5	Nº10	Nº20	Nº40
A.	1.00	84.4	73.0	45.8	20.7	10.8	5.7		
B.	1.00	81	70	45	21	11	6		

1. Volumen de la muestra	V	cm <sup>3</sup>			Prom.
		1	2	3	
2. C.A. en peso de la muestra	%	4.0	4.0	4.0	
3. N. de gran. inferior en peso de la muestra (aprox. 4%)	%	41.26	41.26	41.26	
4. N. de gran. superior en peso de la muestra (aprox. 4%)	%	53.78	53.78	53.78	
5. N. de filler en peso de la muestra (incluido 0.075 para arriba) a 100%	%	0.96	0.96	0.96	
6. Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm <sup>3</sup>	1.022	1.022	1.022	
7. Peso específico bulk de la grava (40% ASTM 1.17, 40% ASTM 1.18, MTC 2.00)	g/cm <sup>3</sup>	1.626	1.626	1.626	
8. Peso específico aparente de la grava (40% ASTM 1.17, 40% ASTM 1.18, MTC 2.00)	g/cm <sup>3</sup>	1.688	1.688	1.688	1.688
9. Peso específico bulk de la arena (40% ASTM 1.18, 40% ASTM 1.19, MTC 2.00)	g/cm <sup>3</sup>	1.751	1.751	1.751	
10. Peso específico aparente de la arena (40% ASTM 1.18, 40% ASTM 1.19, MTC 2.00)	g/cm <sup>3</sup>	1.806	1.806	1.806	1.806
11. Peso específico aparente del filler	g/cm <sup>3</sup>	1.47	1.47	1.47	1.47
12. Mezcla asfáltica de la muestra	cm <sup>3</sup>	1.24	1.24	1.24	
13. Peso de la muestra en el ensayo	gr	1000.00	1000.00	1000.00	
14. Peso de la muestra saturada (aprox. 24 horas en agua)	gr	1081.00	1078.00	1073.0	
15. Volumen de la muestra (a 23°C)	cm <sup>3</sup>	1.74	1.69	1.64	
16. Peso contenido de la muestra (1.17)	g/cm <sup>3</sup>	1.026	1.022	1.024	1.010
17. Peso específico aparente mínimo (1.17)	g/cm <sup>3</sup>	1.021	1.021	1.021	
18. Índice de densidad relativa de la muestra (1.17) (ASTM D 1558)	g/cm <sup>3</sup>	1.061	1.061	1.061	
19. N. de arena con grav. (100% 1.18)	%	13.10	14.14	13.01	13.42
20. Peso específico bulk del agregado total (100% 1.18) (ASTM D 1558)	g/cm <sup>3</sup>	1.684	1.684	1.684	
21. Peso específico aparente del agregado total (100% 1.18) (ASTM D 1558)	g/cm <sup>3</sup>	1.686	1.686	1.686	
22. Peso específico aparente del agregado total (100% 1.18) (ASTM D 1558)	g/cm <sup>3</sup>	1.686	1.686	1.686	
23. Peso específico aparente del agregado total (100% 1.18) (ASTM D 1558)	g/cm <sup>3</sup>	1.686	1.686	1.686	
24. Índice volumétrico por el agregado total (100% 1.18) (ASTM D 1558)	%	1.81	1.81	1.81	
25. N. de arena del agregado / Volumen de la muestra (100% 1.18)	%	63.64	66.00	64.00	
26. N. de arena de la muestra (100% 1.18) (ASTM D 1558)	%	3.77	4.29	4.07	
27. N. de arena del agregado mineral (100% 1.18)	%	17.40	19.03	18.08	18.49
28. Índice volumétrico por el agregado mineral (100% 1.18) (ASTM D 1558)	%	1.77	1.78	1.78	
29. Índice de arena (100% 1.18)	%	15.02	15.11	15.11	15.77
30. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.76	13.87	13.88	
31. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.7	13.8	13.8	
32. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.44	13.62	13.62	13.49
33. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
34. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
35. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
36. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
37. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
38. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
39. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
40. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
41. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
42. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
43. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
44. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
45. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
46. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
47. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
48. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
49. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
50. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
51. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
52. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
53. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
54. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
55. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
56. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
57. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
58. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
59. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
60. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
61. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
62. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
63. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
64. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
65. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
66. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
67. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
68. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
69. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
70. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
71. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
72. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
73. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
74. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
75. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
76. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
77. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
78. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
79. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
80. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
81. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
82. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
83. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
84. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
85. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
86. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
87. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
88. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
89. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
90. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
91. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
92. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
93. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
94. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
95. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
96. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
97. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
98. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
99. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	
100. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.2	13.2	13.2	

USAT

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

USAT

IDENTIFICACION DE CONCRETO ARMADO  
METODO MARSHALL - ASTM D 1558 AASTHO T 346

TIPO: Influencia de las brevedades metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2021.

CANTERA: Tres Torres - Paredale

INGENIERO: Fernando Fabre, Karla Nahuay

Grava Chica 1/2" 40%  
Grava Chica 3/8" 50%

Grava de Muestras 1000  
Peso de C.A. 80 **+ 0.30%**  
Peso del Cemento 1500  
Peso Total de la Mezcla Asfáltica 3900

CEMENTO ASFALTICO PER 60/70

Muestra	% Muestr. N. Doble	% Grad. Paso al Tam. 60							
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº5	Nº10	Nº20	Nº40
A. Arena Fina/Grava	42.57	41.25							
B. Arena	56.53	53.78							
C. Filler	1	4.98							

Muestra	Espesif. Relativa	Ponderaciones							
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº5	Nº10	Nº20	Nº40
A.	1.00	84.4	73.0	45.8	20.7	10.8	5.7		
B.	1.00	81	70	45	21	11	6		

1. Volumen de la muestra	V	cm <sup>3</sup>			Prom.
		1	2	3	
2. C.A. en peso de la muestra	%	4.0	4.0	4.0	
3. N. de gran. inferior en peso de la muestra (aprox. 4%)	%	41.26	41.26	41.26	
4. N. de gran. superior en peso de la muestra (aprox. 4%)	%	53.78	53.78	53.78	
5. N. de filler en peso de la muestra (incluido 0.075 para arriba) a 100%	%	0.96	0.96	0.96	
6. Peso específico aparente del cemento asfáltico	g/cm <sup>3</sup>	1.022	1.022	1.022	
7. Peso específico bulk de la grava (40% ASTM 1.17, 40% ASTM 1.18, MTC 2.00)	g/cm <sup>3</sup>	1.626	1.626	1.626	
8. Peso específico aparente de la grava (40% ASTM 1.17, 40% ASTM 1.18, MTC 2.00)	g/cm <sup>3</sup>	1.688	1.688	1.688	1.688
9. Peso específico bulk de la arena (40% ASTM 1.18, 40% ASTM 1.19, MTC 2.00)	g/cm <sup>3</sup>	1.751	1.751	1.751	
10. Peso específico aparente de la arena (40% ASTM 1.18, 40% ASTM 1.19, MTC 2.00)	g/cm <sup>3</sup>	1.806	1.806	1.806	1.806
11. Peso específico aparente del filler	g/cm <sup>3</sup>	1.47	1.47	1.47	1.47
12. Mezcla asfáltica de la muestra	cm <sup>3</sup>	1.24	1.24	1.24	
13. Peso de la muestra en el ensayo	gr	1000.00	1000.00	1000.00	
14. Peso de la muestra saturada (aprox. 24 horas en agua)	gr	1073.00	1070.00	1065.0	
15. Volumen de la muestra (a 23°C)	cm <sup>3</sup>	1.69	1.64	1.59	
16. Peso contenido de la muestra (1.17)	g/cm <sup>3</sup>	1.022	1.022	1.022	1.017
17. Peso específico aparente mínimo (1.17)	g/cm <sup>3</sup>	1.021	1.021	1.021	
18. Índice de densidad relativa de la muestra (1.17) (ASTM D 1558)	g/cm <sup>3</sup>	1.061	1.061	1.061	
19. N. de arena con grav. (100% 1.18)	%	13.10	14.14	13.01	13.42
20. Peso específico bulk del agregado total (100% 1.18) (ASTM D 1558)	g/cm <sup>3</sup>	1.684	1.684	1.684	
21. Peso específico aparente del agregado total (100% 1.18) (ASTM D 1558)	g/cm <sup>3</sup>	1.686	1.686	1.686	
22. Peso específico aparente del agregado total (100% 1.18) (ASTM D 1558)	g/cm <sup>3</sup>	1.686	1.686	1.686	
23. Peso específico aparente del agregado total (100% 1.18) (ASTM D 1558)	g/cm <sup>3</sup>	1.686	1.686	1.686	
24. Índice volumétrico por el agregado total (100% 1.18) (ASTM D 1558)	%	1.81	1.81	1.81	
25. N. de arena del agregado / Volumen de la muestra (100% 1.18)	%	63.64	66.00	64.00	
26. N. de arena de la muestra (100% 1.18) (ASTM D 1558)	%	3.77	4.29	4.07	
27. N. de arena del agregado mineral (100% 1.18)	%	17.40	19.03	18.08	18.49
28. Índice volumétrico por el agregado mineral (100% 1.18) (ASTM D 1558)	%	1.77	1.78	1.78	
29. Índice de arena (100% 1.18)	%	15.02	15.11	15.11	15.77
30. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.76	13.87	13.88	
31. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.7	13.8	13.8	
32. Índice de arena (100% 1.18)	%	13.44	13.62	13.62	13.49
33. Índice					



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



INDICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1558 AASHTO T-301

TEMA: Influencia de las finas metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2022'

CANTERA: Tres Tomas - Ferrelafide

PIAZA: La Victoria

TESTERA: Ferminado Palco, Karla Nafonso

Table with 2 columns: Material, % Mezcla, % Pasado. Rows: Grava Chancada 1/2", Arena Chancada.

Table with 2 columns: Material, Cantidad. Rows: Peso de Muestra, Peso de C.A., Peso del Cemento, Peso Total de la Mezcla Asfáltica.

CEMENTO ASFALTICO PAVIMENTO

Table with 3 columns: Material, % Mezcla, % Pasado. Rows: Grava Triturada, Arena, Filler.

Table with 10 columns: % Que Pasa al Tambo, 1", 3/4", 1/2", 3/8", #40, #60, #80, #100, #200.

Main test results table with 4 columns: #, 1, 2, 3, Prom. Rows 1-33 covering various test parameters like compaction, stability, and moisture.

Handwritten signature and stamp: Henry Rivas Obitos, Ing. Laboratorio USAT



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



INDICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1558 AASHTO T-301

TEMA: Influencia de las finas metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2022'

CANTERA: Tres Tomas - Ferrelafide

PIAZA: La Victoria

TESTERA: Ferminado Palco, Karla Nafonso

Table with 2 columns: Material, % Mezcla, % Pasado. Rows: Grava Chancada 1/2", Arena Chancada.

Table with 2 columns: Material, Cantidad. Rows: Peso de Muestra, Peso de C.A., Peso del Cemento, Peso Total de la Mezcla Asfáltica.

CEMENTO ASFALTICO PAVIMENTO

Table with 3 columns: Material, % Mezcla, % Pasado. Rows: Grava Triturada, Arena, Filler.

Table with 10 columns: % Que Pasa al Tambo, 1", 3/4", 1/2", 3/8", #40, #60, #80, #100, #200.

Main test results table with 4 columns: #, 1, 2, 3, Prom. Rows 1-33 covering various test parameters like compaction, stability, and moisture.

Handwritten signature and stamp: Henry Rivas Obitos, Ing. Laboratorio USAT





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



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



INDICACION DE CONCRETO ASFALTICO  
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T 240

TEMA: "Influencia de las brechas metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2021".

CANTERA: Tres Torres - Ferrelife  
Filipino - La Victoria

TEXTA: Fernando Feltes, Carlo Nahayno

Grasa Chicaada 1/2"	43%	Peso de Muestra	1195
Grasa Chicaada	57%	Peso de C.A.	80
		Peso del Cemento	15
		Peso Total de la Muestra Asfáltica	1300

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grasa Totalizada	43.97	40.40
B Arena	56.03	59.60
C Filler	0.00	0.00

% Que Pasa al Tamiz						
T"	3/4"	1/2"	3/8"	NO. 4	NO. 10	NO. 20
100	88.4	78.0	57.0	45.8	30.7	16.8
100	80.0	70.0	50.0	35.0	20.0	10.0

#	1	2	3	Prom.
1. Numero de Briquetas				
2. C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0
3. % de arena totalizada en peso de la mezcla (masa de)	%	40.40	40.40	40.40
4. % de arena combinada en peso de mezcla (masa de)	%	52.66	52.66	52.66
5. % de filler en peso de mezcla (masa de) (masa de filler)	%	0.04	0.04	0.04
6. Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023
7. Peso específico Bulk de la grasa (ASTM D 227, AASTHO T 83, NTC E 200)	gr/cc	2.824	2.824	2.824
8. Peso específico Aparente de la grasa (ASTM D 227, AASTHO T 83, NTC E 200)	gr/cc	2.888	2.888	2.888
9. Peso específico Bulk de la arena (ASTM D 159, AASTHO T 84, NTC E 200)	gr/cc	2.551	2.551	2.551
10. Peso específico Aparente de la arena (ASTM D 159, AASTHO T 84, NTC E 200)	gr/cc	2.804	2.804	2.804
11. Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47
12. Diferencia de la grava	gr	6.51	6.4	6.25
13. Peso de la grava en el agua	gr	1185	1150	1115.0
14. Peso de la grava cuando se sumergió en agua	gr	1182.8	1152.7	1116.4
15. Peso de la grava en el agua	gr	264.7	265.3	265.0
16. Volumen de la grava	cc	498.1	484.4	487.6
17. Peso unitario de la grava (ASTM D 2726, NTC E 154)	gr/cc	2.929	3.174	3.283
18. Peso específico teórico máximo (ASTM D 2041, AASTHO T 209, NTC E 209)	gr/cc	3.447	3.447	3.447
19. Diferencia porcentual máxima de los agregados (ASTM D 2041, AASTHO T 209, NTC E 209)	gr/cc	2.606	2.606	2.606
20. % de vacíos con agua (ASTM D 2726, NTC E 154)	%	4.83	3.98	4.50
21. Peso específico Bulk del agregado Total (ASTM D 2726, NTC E 154)	gr/cc	2.838	2.838	2.838
22. Peso específico Aparente del agregado total (ASTM D 2726, NTC E 154)	gr/cc	2.886	2.886	2.886
23. Peso específico aparente del agregado total (ASTM D 2726, NTC E 154)	gr/cc	2.886	2.886	2.886
24. Diferencia aparente por el agregado total (ASTM D 2726, NTC E 154)	%	0.03	0.03	0.03
25. % del vol del agregado / Volumen Bruto de la grava (ASTM D 2726, NTC E 154)	%	83.94	84.61	84.46
26. % del volumen de vacíos aparente / volumen de grava (ASTM D 2726, NTC E 154)	%	12.28	12.42	12.35
27. % vacíos del agregado máximo (ASTM D 2726, NTC E 154)	%	12.01	12.08	12.04
28. Diferencia / peso de la mezcla (ASTM D 2726, NTC E 154)	%	5.38	5.38	5.38
29. Reflejo beta (ASTM D 2726, NTC E 154)	%	71.81	87.64	79.72
30. Estabilidad en corte (ASTM D 2726, NTC E 154)	gr	1000	880	940
31. Factor de estabilidad	gr	104	108	106
32. Estabilidad porcentual (%)	gr	1049	1092	1070
33. Factor de Fluctuación (ASTM D 2726, NTC E 154)	gr	18	17	17.5
34. Fluctuación	gr	4.57	6.32	5.45
35. Reflejo Estabilidad / Fluencia	gr	2295	2507	2451

USAT  
TECNICO DE LABORATORIO

GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA  
ENSAJO (ASTM D 1559 AASTHO T 240)

TEMA: "Influencia de las brechas metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2021".

CANTERA: Tres Torres - Ferrelife  
Filipino - La Victoria

TEXTA: Fernando Feltes, Carlo Nahayno

POCENAIAR DE ASFALTO	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2006	2524	2006	2518	2465
3.- DIFERENCIA DEL PESO (B4) - (B5)	2013	1920	1989	1910	1852
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3512.0	3420.0	3496.0	3410.0	3352.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	595	604	607	608	613
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	2.521	2.483	2.471	2.467	2.447

USAT  
TECNICO DE LABORATORIO





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



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



INDICACION DE CONCRETO ASFALTADO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1558 AASTHO T 305

TESS: "Influencia de las Emulsiones asfálticas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2022"

CANTERA: Tipo: Trazos - Femenilife
Páscar - La Victoria
TEXTA: Fernando Fabre, María Navarro

Table with 2 columns: Component, Weight (%). Rows include Grava Chanzada 1/2", Arena Chanzada, Cemento (P&C), and Peso Total de la Mezcla Asfáltica.

COMPOSITO ASFALTICO F&C (40%)

Table with 2 columns: Material, % Mezcla, % Grava. Rows include Grava Triturada, Arena, Filler, and Agua.

% Grava Pasa al Tambo

Table with 2 columns: Gravel Size (mm), % Grava. Rows include 75, 150, 300, 600, 1250, 2500, 5000, 7500, 15000, 30000.

Table with 2 columns: Mezcla, Especificaciones. Rows include 100, 84.4, 79.0, 69.8, 59.7, 50.8, 41.8.

Main test results table with 3 columns: #, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100. Columns include description, unit, and values.

Handwritten signature and official stamp of the laboratory.

INDICACION DE CONCRETO ASFALTADO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1558 AASTHO T 305

TESS: "Influencia de las Emulsiones asfálticas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2022"

CANTERA: Tipo: Trazos - Femenilife
Páscar - La Victoria
TEXTA: Fernando Fabre, María Navarro

Table with 2 columns: Component, Weight (%). Rows include Grava Chanzada 1/2", Arena Chanzada, Cemento (P&C), and Peso Total de la Mezcla Asfáltica.

COMPOSITO ASFALTICO F&C (40%)

Table with 2 columns: Material, % Mezcla, % Grava. Rows include Grava Triturada, Arena, Filler, and Agua.

% Grava Pasa al Tambo

Table with 2 columns: Gravel Size (mm), % Grava. Rows include 75, 150, 300, 600, 1250, 2500, 5000, 7500, 15000, 30000.

Table with 2 columns: Mezcla, Especificaciones. Rows include 100, 84.4, 79.0, 69.8, 59.7, 50.8, 41.8.

Main test results table with 3 columns: #, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100. Columns include description, unit, and values.

Handwritten signature and official stamp of the laboratory.



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



**GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA**  
**ENSAYO: RICE AASHTO T - 209 ASTM D-2941**

**TEMA:** "Influencia de las brechas metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023".

**CANTERA:** Tiro Torres - Ferrelle

**PIEZA:** La Victoria

**TECNICO:** Fernando Fialta, Karla Nakomy

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2730	2729	2699	2671	2746
3.- DIFERENCIA DEL PESO (94) - (85)	2141	2143	2067	2051	2137
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3643.0	3643.0	3597.0	3555.0	3637.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	2100	2100	1933	1930	1910
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	589	590	602	620	629
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5)/(6)	<b>2.547</b>	<b>2.537</b>	<b>2.492</b>	<b>2.485</b>	<b>2.385</b>



Anexo N° 21: Resultados Marshall 50%-50% limaduras respecto al porcentaje total del filler

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

INDICACION DE CONCRETO ASFALTADO  
METODO MARSHALL - ASTM - D 1558 AASTHO T-240

TEMA: "Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas (M2)".

CANTERA: Tres Tamos: Arencabilla  
Pájaros: La Victoria  
TESTEA: Fernando Valle, Karla Nohora

Grasa Chica (LIT)	48%
Grasa Chica (M)	57%
Graveros (FILL)	9%

Peso de Muestra	1820
Peso de L.A.	68
Peso del Cemento	18
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1906

Material	% Ponderal	% Volumen
A Grasa Chica	61.07	61.04
B Grava	33.23	33.28
C Filler	5.7	5.68
Graveros	9.93	9.98

% Fines por el Tamiz	
mm	%
190	100
150	100
119	100
90	100
75	100
60	100
47.5	100
37.5	100
30	100
25	100
20	100
15	100
11.75	100
7.5	100
4.75	100
2.0	100
0.75	100

INDICACION DE CONCRETO ASFALTADO  
METODO MARSHALL - ASTM - D 1558 AASTHO T-240

TEMA: "Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas (M2)".

CANTERA: Tres Tamos: Arencabilla  
Pájaros: La Victoria  
TESTEA: Fernando Valle, Karla Nohora

Grasa Chica (LIT)	48%
Grasa Chica (M)	57%
Graveros (FILL)	9%

Peso de Muestra	1817.5
Peso de L.A.	65.8
Peso del Cemento	18
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1901.3

Material	% Ponderal	% Volumen
A Grasa Chica	61.07	61.04
B Grava	33.23	33.28
C Filler	5.7	5.68
Graveros	9.93	9.98

% Fines por el Tamiz	
mm	%
190	100
150	100
119	100
90	100
75	100
60	100
47.5	100
37.5	100
30	100
25	100
20	100
15	100
11.75	100
7.5	100
4.75	100
2.0	100
0.75	100

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

INDICACION DE CONCRETO ASFALTADO  
METODO MARSHALL - ASTM - D 1558 AASTHO T-240

TEMA: "Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas (M2)".

CANTERA: Tres Tamos: Arencabilla  
Pájaros: La Victoria  
TESTEA: Fernando Valle, Karla Nohora

Grasa Chica (LIT)	48%
Grasa Chica (M)	57%
Graveros (FILL)	9%

Peso de Muestra	1817.5
Peso de L.A.	65.8
Peso del Cemento	18
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1901.3

Material	% Ponderal	% Volumen
A Grasa Chica	61.07	61.04
B Grava	33.23	33.28
C Filler	5.7	5.68
Graveros	9.93	9.98

% Fines por el Tamiz	
mm	%
190	100
150	100
119	100
90	100
75	100
60	100
47.5	100
37.5	100
30	100
25	100
20	100
15	100
11.75	100
7.5	100
4.75	100
2.0	100
0.75	100



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



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



DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1557 AASHTO T - 245

TESIS: "Influencia de las estructuras metálicas como fibra en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2022"

CANTERA: Tres Torres - Ferreñafe
Piranga - La Victoria
TEXTITA: Fernando Fabre, Karla Nohemy

Table with 2 columns: Material, % (Grava Chancada 1/2", Arena, Cemento Portland, Agua Total)

Table with 2 columns: Material, Cantidad (Peso de Muestra, Peso de C.A., Peso del Cemento, Peso Total de la Mezcla Asfáltica)

CONCRETO ASFALTICO EN CILINDRO

Table with 3 columns: Material, % Material, % (Grava, Arena, Fibra, Agua)

% Densidad del Concreto

Table with 10 columns: 1", 3/4", 1/2", 3/8", MP4, MP10, MP40, MP80, MP100

Table with 2 columns: Método, Especificaciones (100, 84.4, 73.0, 57.0, 45.8, 38.7, 33.8, 3.7)

Main test results table with 4 columns: #, 1, 2, 3, Prom. (Items 1-33)

Henry Rivasdelgado Obispo
Téc. LABORATORIO USAT

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS

DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1557 AASHTO T - 245

TESIS: "Influencia de las estructuras metálicas como fibra en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2022"

CANTERA: Tres Torres - Ferreñafe
Piranga - La Victoria
TEXTITA: Fernando Fabre, Karla Nohemy

Table with 2 columns: Material, % (Grava Chancada 1/2", Arena, Cemento Portland)

Table with 2 columns: Material, Cantidad (Peso de Muestra, Peso de C.A., Peso del Cemento, Peso Total de la Mezcla Asfáltica)

CONCRETO ASFALTICO EN CILINDRO

Table with 3 columns: Material, % Material, % (Grava, Arena, Fibra, Agua)

% Densidad del Concreto

Table with 10 columns: 1", 3/4", 1/2", 3/8", MP4, MP10, MP40, MP80, MP100

Table with 2 columns: Método, Especificaciones (100, 84.4, 73.0, 57.0, 45.8, 38.7, 33.8, 3.7)

Main test results table with 4 columns: #, 1, 2, 3, Prom. (Items 1-33)

Henry Rivasdelgado Obispo
Téc. LABORATORIO USAT

LABORATORIO DE GEOTECNIA, CAMINOS Y ENSAYOS



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



GRUPO ESPECIFICO DE MEDIDA HETEROGENA  
 ENSAYO NICE ANEXO T-289 ASTM D-2941

TEMA : "Influencia de las estructuras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2017".

CANTINA : Luis Torres - Ferreyrol  
 Físico - La Victoria  
 TESISTA : Fernando Fabro, Karla Nohemy

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.0%	6.5%	8.0%	9.5%	8.0%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2726	2738	2688	2676	2747
3.- DIFERENCIA DEL PESO (24) - (25)	2540	2547	2593	2657	2721
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3645.0	3647.0	3601.0	3557.0	3621.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (11) - (9)	580	595	597	613	628
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (11)/(14)	2.588	2.538	2.533	2.467	2.396



FECHA DE EMISIÓN

*[Signature]*  
 Henry Escudérraga  
 Tte. Laboratorio  
 USAT





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



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



DOURACION DE CONCRETO ANALITICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO 7 - 040

TEMA: Influencia de las limitaciones constructivas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2020.

CANTERA: Tres Torres - Pampalsha
Páramo - La Victoria
TESTEA: Fernando Palco, Karla Nahory

Table with 2 columns: Item, Value. Includes: Grava Chancada 1/2", Arena Chancada, Cemento (P&C), Muestra Asfáltica.

Table with 2 columns: Material, % Mezcla, % Usado. Includes: Grava Chancada, Arena, Filler, Arena.

Table with 2 columns: % Que Pasa al Tamiz, values for various sieve sizes (1", 3/4", 3/8", etc.).

Main test results table with 4 columns: #, 1, 2, 3. Rows include: Densidad de la mezcla, C.A. en peso de la mezcla, S. de gran informado en peso de la mezcla, S. de arena combinada en peso de macadam base, S. de filler en peso de mezcla, etc.



DOURACION DE CONCRETO ANALITICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO 7 - 040

TEMA: Influencia de las limitaciones constructivas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2020.

CANTERA: Tres Torres - Pampalsha
Páramo - La Victoria
TESTEA: Fernando Palco, Karla Nahory

Table with 2 columns: Item, Value. Includes: Grava Chancada 1/2", Arena Chancada, Cemento (P&C), Muestra Asfáltica.

Table with 2 columns: Material, % Mezcla, % Usado. Includes: Grava Chancada, Arena, Filler, Arena.

Table with 2 columns: % Que Pasa al Tamiz, values for various sieve sizes (1", 3/4", 3/8", etc.).

Main test results table with 4 columns: #, 1, 2, 3. Rows include: Densidad de la mezcla, C.A. en peso de la mezcla, S. de gran informado en peso de la mezcla, S. de arena combinada en peso de macadam base, S. de filler en peso de mezcla, etc.





UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVELLO  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL  
 LABORATORIO DE GEOTECHNA, CAMINOS Y ENSAYOS



GRANDEZA ESPECIFICA DE MEDIDA SITUMINIDA  
 ENSAYO NCS ARGENT 7-209 ASTM D-2048

TEMA : "Influencia de las estructuras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de masas asfálticas (P2)".

CATEDRA : Dos Tomas - Fenómeno  
 Profesor : LA VENTURA  
 TEGETA : Fernando Gallo, Karla Nolasco

PORCENTAJE DE ASFALTO	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%
1.- PESO DEL FRASCO	724	724	724	724	724
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA	2773	2742	2694	2644	2743
3.- DIFERENCIA DEL PESO (W1) - (W2)	2048	2018	2070	2054	2219
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3648.0	3622.0	3675.0	3634.0	3639.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6.- AGUA DESPLAZADA (1) - (2)	184	180	164	162	162
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (15)/(6)	2.175	2.162	2.125	2.409	2.411



Anexo N° 23: Resultados Marshall para 100% limaduras metálicas como remplazo de filler



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



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



INDICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM D 1559 ABRIL 1, 2002
TITULO: Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezcla asfáltica 200T.
CANTERA: Tiro Tanco, Huanabala
ESTRATA: Huanabala, María Molino
Table with 10 columns: #, Descripción, #, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100.

INDICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM D 1559 ABRIL 1, 2002
TITULO: Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezcla asfáltica 200T.
CANTERA: Tiro Tanco, Huanabala
ESTRATA: Huanabala, María Molino
Table with 10 columns: #, Descripción, #, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100.

Henry Rivasdorey
Cabrera
Tito LABORATORIO
USAT

Henry Rivasdorey
Cabrera
Tito LABORATORIO
USAT



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



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



INDICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 303

TESTES: Influencia de las limitaciones materiales como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2022.

CANTERA: Tres Tomas - Fariñaflo
Pebazo - La Victoria
TESTEA: Fernando Flores, Karla Natally

Table with 2 columns: Material and % Mezcla. Rows include Arena (40%), Grava (57%), Cemento (3%), and Muestra Asfáltica (100%).

Table with 2 columns: Material and % Mezcla. Rows include Grava (42.87%), Arena (16.03%), Filler (1.00%), and Arena (1.00%).

Table with 2 columns: Material and % Mezcla. Rows include Grava (42.87%), Arena (16.03%), Filler (1.00%), and Arena (1.00%).

Main data table for Test 1. Columns: #, 1, 2, 3, Probs. Rows include: 1. Equipo de Brinquete, 2. C.A. en peso de la muestra, 3. C.A. en peso de la muestra, 4. M. de grava triturada en peso de la muestra (masa: M1), 5. M. de arena combinada en peso de material total (M2), 6. M. de filler en peso de muestra (masa: M3, masa modo #200), 7. Pesar especifico aparente de la muestra asfáltica, 8. Pesar especifico aparente de la grava (ASTM C 127, AASHTO T 80, MTC E 200), 9. Pesar especifico aparente de la arena (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 200), 10. Pesar especifico aparente de la arena (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 200), 11. Pesar especifico aparente del filler, 12. Pesar especifico aparente del filler, 13. Pesar especifico aparente del filler, 14. Densidad procedida de la brinqueta, 15. Peso de la brinqueta en el aire, 16. Peso de la brinqueta colocada suavemente seco, 17. Peso de la brinqueta en el agua, 18. Volumen de la brinqueta, 19. Pesar unitario de la brinqueta (ASTM D 1776, MTC E 214), 20. Pesar especifico teórico máximo (Pmax) (ASTM D 2041, AASHTO T 200, MTC E 210), 21. Máxima densidad teórica de los agregados (ASTM D 2041, AASHTO T 200, MTC E 210), 22. M. de vacíos en aire (VMA) (ASTM D 2041, MTC E 200), 23. Pesar especifico bulk del agregado total (ASTM D 2041, AASHTO T 200, MTC E 210), 24. Pesar especifico aparente del agregado total (ASTM D 2041, AASHTO T 200, MTC E 210), 25. Pesar especifico efectivo del agregado total (ASTM D 2041, AASHTO T 200, MTC E 210), 26. Aditivo absorbido por el agregado total (ASTM D 4499, MTC E 311), 27. M. del vol del Agregado / Volumen Bruto de la Brinqueta (Vb) (ASTM D 2041), 28. M. del volumen de vacíos efectivos / Volumen de Brinqueta (Vb) (ASTM D 2041), 29. M. del volumen de agregado compactado (ASTM D 2041), 30. Aditivo efectivo / peso de la muestra (ASTM D 4499), 31. Relación betón asfalto (ASTM D 4499), 32. Relación betón asfalto (ASTM D 4499), 33. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 34. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 35. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 36. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 37. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 38. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 39. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 40. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 41. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 42. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 43. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 44. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 45. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 46. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 47. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 48. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 49. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 50. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 51. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 52. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 53. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 54. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 55. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 56. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 57. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 58. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 59. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 60. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 61. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 62. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 63. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 64. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 65. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 66. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 67. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 68. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 69. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 70. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 71. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 72. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 73. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 74. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 75. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 76. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 77. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 78. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 79. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 80. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 81. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 82. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 83. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 84. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 85. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 86. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 87. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 88. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 89. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 90. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 91. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 92. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 93. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 94. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 95. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 96. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 97. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 98. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 99. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 100. Factor de estabilidad (ASTM D 4499).

Henry Rosales Obitias
USAT



INDICACION DE CONCRETO ASFALTICO
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 303

TESTES: Influencia de las limitaciones materiales como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2022.

CANTERA: Tres Tomas - Fariñaflo
Pebazo - La Victoria
TESTEA: Fernando Flores, Karla Natally

Table with 2 columns: Material and % Mezcla. Rows include Arena (40%), Grava (57%), Cemento (3%), and Muestra Asfáltica (100%).

Table with 2 columns: Material and % Mezcla. Rows include Grava (42.87%), Arena (16.03%), Filler (1.00%), and Arena (1.00%).

Table with 2 columns: Material and % Mezcla. Rows include Grava (42.87%), Arena (16.03%), Filler (1.00%), and Arena (1.00%).

Main data table for Test 2. Columns: #, 1, 2, 3, Probs. Rows include: 1. Equipo de Brinquete, 2. C.A. en peso de la muestra, 3. C.A. en peso de la muestra, 4. M. de grava triturada en peso de la muestra (masa: M1), 5. M. de arena combinada en peso de material total (M2), 6. M. de filler en peso de muestra (masa: M3, masa modo #200), 7. Pesar especifico aparente de la muestra asfáltica, 8. Pesar especifico aparente de la grava (ASTM C 127, AASHTO T 80, MTC E 200), 9. Pesar especifico aparente de la arena (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 200), 10. Pesar especifico aparente de la arena (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 200), 11. Pesar especifico aparente del filler, 12. Pesar especifico aparente del filler, 13. Pesar especifico aparente del filler, 14. Densidad procedida de la brinqueta, 15. Peso de la brinqueta en el aire, 16. Peso de la brinqueta colocada suavemente seco, 17. Peso de la brinqueta en el agua, 18. Volumen de la brinqueta, 19. Pesar unitario de la brinqueta (ASTM D 1776, MTC E 214), 20. Pesar especifico teórico máximo (Pmax) (ASTM D 2041, AASHTO T 200, MTC E 210), 21. Máxima densidad teórica de los agregados (ASTM D 2041, AASHTO T 200, MTC E 210), 22. M. de vacíos en aire (VMA) (ASTM D 2041, MTC E 200), 23. Pesar especifico bulk del agregado total (ASTM D 2041, AASHTO T 200, MTC E 210), 24. Pesar especifico aparente del agregado total (ASTM D 2041, AASHTO T 200, MTC E 210), 25. Pesar especifico efectivo del agregado total (ASTM D 2041, AASHTO T 200, MTC E 210), 26. Aditivo absorbido por el agregado total (ASTM D 4499, MTC E 311), 27. M. del vol del Agregado / Volumen Bruto de la Brinqueta (Vb) (ASTM D 2041), 28. M. del volumen de vacíos efectivos / Volumen de Brinqueta (Vb) (ASTM D 2041), 29. M. del volumen de agregado compactado (ASTM D 2041), 30. Aditivo efectivo / peso de la muestra (ASTM D 4499), 31. Relación betón asfalto (ASTM D 4499), 32. Relación betón asfalto (ASTM D 4499), 33. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 34. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 35. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 36. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 37. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 38. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 39. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 40. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 41. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 42. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 43. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 44. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 45. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 46. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 47. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 48. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 49. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 50. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 51. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 52. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 53. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 54. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 55. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 56. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 57. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 58. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 59. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 60. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 61. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 62. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 63. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 64. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 65. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 66. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 67. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 68. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 69. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 70. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 71. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 72. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 73. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 74. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 75. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 76. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 77. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 78. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 79. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 80. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 81. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 82. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 83. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 84. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 85. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 86. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 87. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 88. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 89. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 90. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 91. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 92. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 93. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 94. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 95. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 96. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 97. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 98. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 99. Factor de estabilidad (ASTM D 4499), 100. Factor de estabilidad (ASTM D 4499).

Henry Rosales Obitias
USAT





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



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



NOTIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO  
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASHTO T-193

TEMA : "Influencia de los tratamientos estadísticos como filler en las propiedades físicas y mecánicas de masas asfálticas 2022".

CANTERA : Tres Tonos - Hardsdale  
Pílagas : La Victoria

TESTERA : Hernandez Fabian, Galia Nativara

Grasa Chomada 1/2"	43%	Peso de Muestra	1395
Grasa Chomada	53%	Peso de C.A.	95
Cemento (P&C)	5%	Peso del Cemento	15
		Peso Total de la Masa Asfáltica	1505

Materia	% Muestra	% Deseo
Grava Triturada	42.87	40.40
arena	56.03	52.88
Filler	1	6.30
Aguas	1	0.94

% Deseo Filler al Cemento							
1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	1/8"	7/16"	3/32"

Muestra							
100	88.4	72.8	57.8	41.8	28.2	18.8	9.7

Especificaciones		#	1	2	3
1	Numero de Brinquete	%	0.0	0.0	0.0
2	C.A. en peso de la muestra	%	40.40	40.40	40.40
3	% de grava triturada en peso de la muestra (Proctor 40)	%	51.66	53.66	53.66
4	% de arena equivalente en peso de mezclador 40	%	0.84	0.74	0.84
5	% de filler en peso de muestra (muestra 60% peso seco 4200)	%	1.00	1.00	1.00
6	% de agua	(g/100)	1.023	1.023	1.023
7	Peso especifico aparente de cemento (ASTM)	(g/100)	2.529	2.529	2.529
8	Peso especifico Bulk de la grava (ASTM C 137 - AASHTO T 89 - MTC E 204)	(g/100)	2.520	2.520	2.520
9	Peso especifico aparente de la grava (ASTM C 137 - AASHTO T 89 - MTC E 204)	(g/100)	2.720	2.720	2.720
10	Peso especifico Bulk de la arena (ASTM C 136 - AASHTO T 84 - MTC E 203)	(g/100)	2.740	2.740	2.740
11	Peso especifico aparente de la arena (ASTM C 136 - AASHTO T 84 - MTC E 203)	(g/100)	1.47	1.47	1.47
12	Peso especifico aparente del filler	(g/100)	1.80	1.84	1.84
13	Peso de la muestra en el cuenco	(g)	6.50	6.50	6.50
14	Peso de la muestra en el cuenco	(g)	1287.60	1390.80	1293.7
15	Peso de la muestra en el cuenco	(g)	1289.80	1392.80	1295.0
16	Peso de la muestra en el cuenco	(g)	700.4	686.80	676.50
17	Volúmenes de la muestra	(c.c)	588.9	505.9	502.4
18	Volúmenes de la muestra	(c.c)	2.780	2.262	2.280
19	Peso aparente de la muestra (ASTM D 2708 - MTC E 314)	(g/100)	2.431	2.431	2.431
20	Peso aparente de la muestra (ASTM D 2708 - MTC E 314)	(g/100)	2.407	2.407	2.407
21	Módulo aparente teórico de los agregados (ASTM D 2708 - MTC E 314)	(g/100)	6.30	6.34	6.34
22	% de vacios con aire (ASTM D 2708 - MTC E 314)	%	6.866	6.866	6.866
23	Peso especifico Bulk del agregado total (ASTM D 2708 - MTC E 314)	(g/100)	2.715	2.715	2.715
24	Peso especifico aparente del agregado total (ASTM D 2708 - MTC E 314)	(g/100)	2.685	2.685	2.685
25	Agujero observado por el agregado total (ASTM D 2708 - MTC E 314)	%	0.86	0.84	0.86
26	% de vacios del agregado / Volumen Bulk de la muestra (ASTM D 2708 - MTC E 314)	%	13.48	13.27	13.28
27	% de vacios del agregado / Volumen aparente de la muestra (ASTM D 2708 - MTC E 314)	%	16.39	16.23	17.58
28	Estabilidad (ASTM D 2708 - MTC E 314)	%	5.11	5.11	5.11
29	Estabilidad (ASTM D 2708 - MTC E 314)	%	67.63	61.83	64.61
30	Estabilidad (ASTM D 2708 - MTC E 314)	%	1205	1180	1195
31	Estabilidad (ASTM D 2708 - MTC E 314)	%	0.20	0.26	0.26
32	Estabilidad (ASTM D 2708 - MTC E 314)	%	1121	1094	1104
33	Estabilidad (ASTM D 2708 - MTC E 314)	%	18	17	17
34	Estabilidad (ASTM D 2708 - MTC E 314)	m.m.	6.57	6.52	6.57
35	Estabilidad (ASTM D 2708 - MTC E 314)	m.m.	2451	2393	2446

Henry Obispo Obispo  
Téc. Laboratorio  
USAT

USAT  
TÉCNICO DE LABORATORIO

UNIDAD ESPECIFICA DE MUELA BITUMINOSA  
ENSAYO: BNC - AASHTO T-208 ASTM D-2041

TEMA : "Influencia de los tratamientos estadísticos como filler en las propiedades físicas y mecánicas de masas asfálticas 2022".

CANTERA : Tres Tonos - Hardsdale

Pílagas : La Victoria

TESTERA : Hernandez Fabian, Galia Nativara

POCENTAJE DE ASFALTO	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%
1- PESO DEL FRASCO	728	724	724	724	728
2- PESO DEL FRASCO + AGUA	2760	2743	2670	2666	2742
3- DIFERENCIA DEL PESO (94) - (95)	2330	2318	2078	2056	2325
4- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3655.0	3655.0	3578.0	3558.0	3625.0
5- PESO NETO DE LA MUESTRA	1500	1500	1500	1500	1500
6- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	580	586	592	608	617
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.588	2.568	2.534	2.467	2.481

Henry Obispo Obispo  
Téc. Laboratorio  
USAT

USAT  
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo N° 24: Resultados de ensayo de Cántabro de desgaste



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



ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS  
MTC E 515

TEMA	Influencia de las limituras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023
CANTINA	Tres Torres - Fariñate
TESISTA	Priscila - La Victoria Karla Nahomy Fernández Fallo

DATOS DE DISEÑO CONVENCIONAL

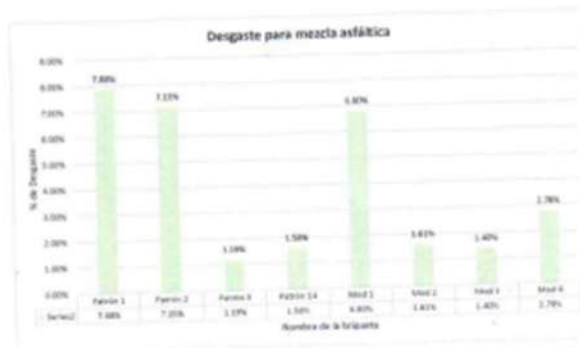
Grava (Chamado 1/2")	48%
Grava (Chamado 3/4")	5.7%
Cemento	3%
Limituras metálicas	0%

DATOS DE DISEÑO MODIFICADO

Grava (Chamado 1/2")	48%
Grava (Chamado 3/4")	5.7%
(75%)	3%
Limituras Metálicas (Inspeco a 150)	8.25%

ENSAYO CÁNTABRO DE DESGASTE PARA MEZCLAS

N° DE BARRIQUETA	TIPO DE FILLER	% DE FILLER	N° DE REVOLUCIONES	TEMPERATURA °C	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DESGASTE	PROMEDIO
Patrón 1	CONVENCIONAL	3%	300	NO ESPECIFICADA	1199.40	1194.9	7.88%	6.43%
Patrón 2	CONVENCIONAL	3%	300	NO ESPECIFICADA	1204.62	1198.9	7.15%	
Patrón 3	CONVENCIONAL	3%	300	NO ESPECIFICADA	1205.47	1196.3	1.19%	
Patrón 14	CONVENCIONAL	3%	300	NO ESPECIFICADA	1206.34	1187.24	1.88%	
Mod 1	Modificado	3%	300	NO ESPECIFICADA	1202.53	1187.7	6.80%	3.15%
Mod 2	Modificado	3%	300	NO ESPECIFICADA	1198.82	1180.48	1.81%	
Mod 3	Modificado	3%	300	NO ESPECIFICADA	1204.13	1187.3	1.40%	
Mod 4	Modificado	3%	300	NO ESPECIFICADA	1211.81	1176.1	2.79%	



NOTA:  
El ensayo MTC E 515, no debería ser superior al 25% a 25 °C.  
El ensayo (MTC E 515), tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión durante 24 horas a 80°C, no podrá exceder del 40%



USAT  
LABORATORIO  
Henry Rivadeneira Oblitas  
Tec. Laboratorio USAT

Anexo N° 25: Resultados humedad inducida para mezcla convencional



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



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

TEMA	Influencia de los limitados modificados como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023
MEZCLA	Agregados
CANTERA	Tres Torres - Ferreñafe
TESISTA	Platago - La Victoria Ferreñafe Valles, Karlo

Grava Chancada 1/2"	43%
Grava Chancada 3/8"	57%
Concha de abanico (Filler)	0%
<b>CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70</b>	

Grava	612.38	
Arenea	798.57	
Filler	0.00	
Peso de C.A.	79.20	3.28%
Total	1489.95	
N° de Golpes	30	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Tronada	42.97	40.89
B Arenea	57.03	53.22
C Concha de abanico (Filler)	0.00	0.00
D Total	94.00	

Mezcla  
Especificaciones: F18

*Henry Rivadeneira Obillos*  
Tec. LABORATORIO USAT  
USAT Universidad Católica  
Laboratorio de Geotecnia, Caminos y Ensayos

DATOS	#	MUESTRAS SUMERGIDAS			MUESTRAS SECAS		
		1	2	3	4	5	6
- Espesor	cm	10.2	10.3	10.2	10.22	10.22	10.25
- Peso de la muestra seca al Aire	gr	1205.1	1202.4	1201.9	1201.1	1204.0	1202.5
- Peso de la muestra en Agua	gr	1216.80	1210.10	1211.40	1213.60	1215.00	1212.10
- Volumen (B - C)	cc	117.7	108.1	109.0	112.8	112.4	112.1
- Peso específico Bulk de la muestra (A/D)	gr/cc	2.154	2.167	2.166	2.152	2.154	2.148
- Peso específico líquido anhidro (B/A)	gr/cc	2.477	2.471	2.471	2.471	2.471	2.471
- Volumen de vacíos (D - E) / (A - B)	cc	4.66	4.33	4.26	4.44	4.73	4.90
- Volumen de vacíos (D - E) / (A - B)	cc	23.80	21.40	21.63	24.72	24.19	25.53

Muestra Saturada en Vacío con 28" Ag. - De 3 a 15 min. En Agua Destilada a 25 °C							
- Peso de la muestra	gr	1224.11	1218.81	1217.74			
- Peso de la muestra en Agua	gr	681.00	682.00	682.10			
- Volumen de la muestra (B' - C')	cc	143.2	136.8	135.6			
- Volumen de Agua de Absorción (B' - A')	cc	18.6	16.4	15.8			
- Saturación (100%) / (D)	%	38.1	35.1	34.7			
- Saturación (B' - E') / (D)	%	8.33	3.60	3.44			

Condiciones de Saturación Por 24 hrs. En Agua a 60 °C - Baño de Mercurio							
- Espesor	cm	7.26	6.99	7.05			
- Peso de la muestra	gr	1222.57	1218.77	1219.11			
- Peso de la muestra en Agua	gr	674.00	683.00	686.00			
- Volumen (B'' - C'')	cc	148.4	131.7	133.2			
- Volumen de Agua de Absorción (B'' - A'')	cc	17.0	16.3	17.3			
- Saturación (100%) / (D)	%	71.4	75.9	79.7			
- Saturación (B'' - E'') / (D)	%	6.79	6.88	8.49			
- Saturación (B'' - E'') / (D)	%	202	208	205	242	216.9	274
- Carga Absorbed N	g	1871.810	1880.480	1881.050	2007.780	2174.020	2138.860
- Fuerza Tensión kPa	kg/cm <sup>2</sup>	1.73	1.86	1.82	2.80	2.23	3.04

RAZÓN DEL ESPESOR A TENSIÓN (TR) = 81.048%

NOTA  
El valor máximo aceptado para TR es de 83%.



Anexo N° 26: Resultados humedad inducida en mezclas experimentales



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



ENSAYO DE LOTTMAN MODIFICADO TSR (MTC E - 522) (AASTHO T 283)

TESIS	Influencia de las brechas masticas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023
MEZCLA	Agregados
CANTERA	Tres Tomas - Ferrelab
	Pitazo - La Victoria
TESISTA	Fernando Valer, Karla Nahomy

Grava Chica 1/2"	48%
Grava Chica 3/4"	53%
Filler total	1%

Grava	632.88	0.40%
Arena	798.17	
Filler	34.26	
Peso de C.A.	81.90	
Total	1546.00	
N° de Colores	01	

Materia	% Muestra	% Diseño
A Grava Triturada	47.87	48.83
B Arena	54.83	53.27
C Limb. total	1.90	0.95
D	Total	95.00

Muestra  
 Especificaciones FFB

*Henry Guadalupe Obitos*  
 Henry Guadalupe Obitos  
 Tsc. LABORATORIO USAT

DATOS	#	MUESTRAS SUMERGIDAS			Prom.	MUESTRAS SECAS			Prom.
		1	2	3		4	5	6	
- Número de Aniquete	cm	35.3	35.3	35.3		35.3	35.3	35.3	
D Diámetro	mm	6.75	6.75	6.75		6.75	6.75	6.75	
F Espesor	mm	1212.4	1212.8	1212.4	1212.5	1202.6	1215.4	1218.9	1210.4
A Peso de la muestra seca al Aire	g	1215.60	1212.35	1215.60		1213.90	1215.10	1212.80	
B 100 de la Muestra	g	690.00	689.00	690.00		691.00	690.00	690.00	
C Peso de la Muestra en Agua	g	522.6	523.1	523.6		522.9	525.1	522.8	
E Ancho de (B - C)	mm	2.210	2.620	2.219	2.9	2.627	2.311	2.327	2.9
F Peso específico Bulk de la muestra (A/D)	g/cm <sup>3</sup>	2.425	2.425	2.425	2.4	2.425	2.425	2.425	2.4
G Peso específico técnico-máximo (F/G)	g/cm <sup>3</sup>	4.91	4.71	4.75	4.9	4.69	4.95	4.66	4.7
H N. de vacíos [(F/G) * 100]	%	25.73	24.63	24.69		24.63	25.58	24.34	
J Volumen de vacíos [(H)*1/100]	cm <sup>3</sup>								

Muestra Saturada en Vacíos con 19 a 22° Cg. - De 3 a 25 min. En Agua Destilada a 25° C									
B 100 de la Muestra	g	1260.60	1232.10	1252.80					
C Peso de la Muestra en Agua	g	637.40	700.10	698.40					
E Volumen de la Muestra (E' - C')	cm <sup>3</sup>	623.2	532.0	554.4					
F Volumen de Agua de Absorción (E' - A')	cm <sup>3</sup>	18.2	18.0	18.4					
- Saturación [(E' - A')/E]	%	2.9	2.9	2.9					
- Ancho de (E' - C')	mm	1.83	1.30	2.08					

Condiciones de Saturación Por 24 hrs. En Agua a 60° C. Reflejo de Mercurio									
F' Espesor	cm	6.74	6.82	7.20					
B' 100 de la Muestra	g	1260.60	1232.14	1252.98					
C' Peso de la Muestra en Agua	g	701.80	701.00	700.10					
E' Volumen (E' - C')	cm <sup>3</sup>	558.8	530.1	552.9					
F' Volumen de Agua de Absorción (E' - A')	cm <sup>3</sup>	18.2	18.2	17.6					
- Saturación [(E' - A')/E]	%	3.3	3.4	3.2					
- Ancho de (E' - C')	mm	1.83	1.32	1.55					
- Carga Máxima (F')	kg	218	225	222		25.2	237.0	262	
- Carga Máxima (F)	kg	2089.181	2207.250	2188.030	2264.900	2472.130	2324.830	2474.020	2390.4
- Fuerza Terminal (F)	kg/cm <sup>2</sup>	0.95	2.00	1.80	2.87	2.20	2.33	2.27	2.21

RAZÓN DEL ESFUERZO A TRASCURSO (FRS) = 20.20%

NOTA:  
 El valor mínimo aceptado para TSR es de 80%.



## Anexo N° 27: Resultados de ensayo tracción indirecta

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

## ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA

**TESIS** :Influencia de las limaduras metálicas como filler en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas 2023

**CANTERA** :Tres Tomas - Ferreñafe  
:Pátapo - La Victoria

**TESISTA** : Fernandez Failoc, Karla Nahomy



## DATOS DE DISEÑO CONVENCIONAL

Grava Chancada 1/2"	43%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento	1%
Limaduras metálicas	0%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Grava Chancada 1/2"	43%
Arena Chancada 1/4"	57%
Cemento	1%
Limaduras metálicas (respecto al filler)	0.25%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

## BRIQUETAS PATRÓN

Tiempo Sumergido	Nombre de briketa	Temperatura 25°C				
		Diámetro cm	Altura cm	Dial kN	Carga Kg	RTI (Kg/cm2)
6h	Patrón 4	10.20	6.98	315	1064.4	9.518
	Patrón 12	10.20	7.18	262	885.3	7.696
	Patrón 13	10.45	8.00	350	1182.7	9.006
	Patrón 15	10.10	6.87	390	1317.8	12.091
prom						9.577

## BRIQUETAS EXPERIMENTALES

Tiempo Sumergido	Nombre de briketa	Temperatura 25°C				
		Diámetro cm	Altura cm	Dial kN	Carga Kg	RTI (Kg/cm2)
6h	Mod 12	10.17	6.76	300	1013.7	9.387
	Mod 13	10.34	6.64	335	1132.0	10.496
	Mod 14	10.21	6.72	300	1013.7	9.406
	Mod 15	10.21	6.79	339	1145.5	10.519
prom						9.952

