

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL: DE INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Influencia de la cal hidratada al 1%, 2%, 3% en la mezcla asfáltica en caliente  
con agregados de Abancay, Apurímac-2024.**

Asesor:

MSc. Maldonado Mendivil, Ángel

Autor:

Antezana Palomino, Shakira

Barazorda Boezo, Windi

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025

## Acta de sustentación



# Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 049

En la ciudad de Abancay, a los 13 días del mes de agosto del 2025, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0654-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 05 de agosto del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

|                |                              |
|----------------|------------------------------|
| Presidenta :   | Mag. Vera Teves, Rosa Marina |
| Dictaminante : | Ing. Cayo Baca, Holguer      |
| Replicante :   | Ing. Gamarra Mota, Rubén     |

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis  Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

**Influencia de la cal hidratada al 1%, 2%, 3% en mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay, Apurímac - 2024**

Desarrollado por las (los) Bachilleres (es):

**Br: Antezana Palomino, Shakira**

**Br: Barazorda Boezo, Windi**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

| Bachiller (Apellidos y Nombres) | Calificación (**) |
|---------------------------------|-------------------|
| Antezana Palomino, Shakira      | Aprobada          |
| Barazorda Boezo, Windi          | Aprobada          |

Siendo las 12:16m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidenta: Mag. Vera Teves, Rosa Marina

Dictaminante: Ing. Cayo Baca, Holguer

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Abancay 15 de agosto del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 344

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559  
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565  
Filial Andahuaylas, Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752  
[www.utea.edu.pe](http://www.utea.edu.pe)

(\*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGAT.  
(\*\*) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGAT.

# Reporte de similitud






## 24% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Fuentes principales

- 21%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 22%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



## Metadatos

| <b>Datos del Autor</b>                           |   |  |
|--|---|--|
| Apellidos y nombres                              | : | Antezana palomino Shakira<br>Barazorda Boezo Windi   |
| Tipo de Documento de Identidad                   |   | Documento Nacional de Identidad  |
| Número de Documento de Identidad                 |   | 77386090<br>78462864   |
| URL ORCID  |   | <a href="https://orcid.org/0009-0007-3660-4665">https://orcid.org/0009-0007-3660-4665</a><br><a href="https://orcid.org/0009-0009-8157-6389">https://orcid.org/0009-0009-8157-6389</a> |
| <b>Datos del Asesor</b>                          |   |  |
| Apellidos y nombres                              |   | MSc. Maldonado Mendivil Angel  |
| Tipo de Documento de Identidad                   |   | Documento Nacional de Identidad  |
| Número de Documento de Identidad                 |   | 06788424   |
| URL ORCID  |   | <a href="https://orcid.org/0000-0001-9002-1910">https://orcid.org/0000-0001-9002-1910</a>  |
| <b>Datos de la investigación</b>                 |   |  |
| Facultad   |   | Ingeniería   |
| Escuela Profesional                              |   | Ingeniería Civil   |
| Línea de Investigación                           |   | Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible  |
| Rango de años en que se realizó la Investigación |   | 4 meses  |
| Fuente de financiamiento                         |   | Auto financiamiento  |
| Porcentaje de similitud                          |   | 24%  |
| URL de OCDE                                      |   | <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01</a>  |

## **Dedicatoria**

A mi tía Katherin Torres Escalante, por enseñarme el valor de la perseverancia y la diligencia dándome siempre su apoyo constante. Sin su dirección e inspiración, este logro nunca habría sido concebible.

**Shakira Antezana Palomino**

A mi madre Santosa Boezo Sauñe y mi padre Aurelio Barazorda León, por acompañarme en este camino lleno de dificultades, por ser la fuente de mi felicidad y darme ánimos en los momentos más difíciles.

**Windi Barazorda Boezo**

## **Agradecimiento**

Por encima de todo, damos gracias a Dios por darnos bienestar y solidaridad para hacer frente a los impedimentos. Luego en ese punto, a nuestra universidad por darnos instructores de alto nivel académico, que nos dieron aprendizajes y lecciones. A nuestro asesor Msc. Ing. Ángel Maldonado Mendivil por su orientación a lo largo de esta investigación y a nuestros amigos e familiares que nos apoyaron que nos impulsaron a seguir adelante.

**Antezana y Barazorda.**

## Resumen

La presente tesis tiene como objetivo analizar cómo influye la incorporación de cal hidratada en proporciones del 1%, 2% y 3% en mezclas asfálticas en caliente elaboradas con agregados provenientes de Abancay. Para ello, se emplea un diseño experimental, enmarcado dentro de una investigación de tipo explicativa y correlacional. El estudio contempla un total de 36 muestras.

El porcentaje que mostró mejores resultados en cada uno de los ensayos realizados fue el 2% de cal hidratada, resultando una resistencia a la deformación de 3225,33 kg/cm, mejorando su estabilidad y flujo, situándose dentro de los límites exigidos por la norma EG-2013.

Superó a la mezcla asfáltica tradicional con un valor de 7,04 Mpa, en el ensayo a tracción indirecta. Por último, en la resistencia al desgaste mediante el ensayo de cántabro dio como resultado el 1.55 % siendo menor el desgaste si se compara con la mezcla asfáltica tradicional, lo que indica que la cal hidratada al 2% mejora la durabilidad de la mezcla, disminuyendo el desgaste por efectos de abrasión y separación de partículas, lo que es crítico para la vida útil del asfalto, concluyendo así que la incorporación de cal hidratada al 2% dio mejores resultados.

**Palabras claves:** cal hidratada, mezcla asfáltica, ensayo de cántabro, ensayo de tracción indirecta, ensayo de Marshall.

## **Abstract**

The purpose of this thesis is to analyze the influence of incorporating hydrated lime in proportions of 1%, 2%, and 3% in hot-mix asphalt mixtures made with aggregates from Abancay. To this end, an experimental design is used, framed within an explanatory and correlational research approach. The study includes a total of 36 samples.

The percentage that showed the best results in each of the tests performed was 2% hydrated lime, resulting in a deformation resistance of 3225.33 kg/cm<sup>3</sup>, improving its stability and flow, and falling within the limits required by the EG-2013 standard.

It outperformed the traditional asphalt mixture with a value of 7.04 MPa in the indirect tensile test. Finally, the wear resistance obtained using the Cantabrian test was 1.55%, which is lower compared to the traditional asphalt mix. This indicates that the 2% hydrated lime improves the durability of the mix, reducing wear due to abrasion and particle separation, which is critical for the asphalt's lifespan. Thus, it is concluded that the addition of 2% hydrated lime yielded better results.

**key words:** hydrated lime, asphalt mix, cantabrian test, indirect tensile test, Marshall test.

## Índice general

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Portada</b> .....                              | <b>i</b>    |
| <b>Acta de sustentación</b> .....                 | <b>ii</b>   |
| <b>Reporte de similitud</b> .....                 | <b>iii</b>  |
| <b>Metadatos</b> .....                            | <b>iv</b>   |
| <b>Dedicatoria</b> .....                          | <b>v</b>    |
| <b>Agradecimiento</b> .....                       | <b>vi</b>   |
| <b>Resumen</b> .....                              | <b>vii</b>  |
| <b>Abstract</b> .....                             | <b>viii</b> |
| <b>Índice general</b> .....                       | <b>ix</b>   |
| <b>Índice de figuras</b> .....                    | <b>xv</b>   |
| <b>Índice de anexos</b> .....                     | <b>xvi</b>  |
| <b>I. Introducción</b> .....                      | <b>17</b>   |
| <b>II. Planteamiento del problema</b> .....       | <b>18</b>   |
| 2.1. Descripción y formulación del problema ..... | 18          |
| 2.1.1.Descripción .....                           | 18          |
| 2.1.2.Formulación del Problema .....              | 19          |
| 2.2. Objetivos .....                              | 20          |
| 2.2.1.Objetivo General.....                       | 20          |
| 2.2.2.Objetivos Específicos.....                  | 20          |
| 2.3. Justificación e importancia.....             | 21          |
| 2.3.1.Justificación .....                         | 21          |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.3.2. Importancia .....   | 21        |
| 2.4. Hipótesis .....   | 21        |
| 2.4.1. Hipótesis general .....                                   | 21        |
| 2.4.2. Hipótesis específicas .....                               | 21        |
| 2.5. Variables .....   | 22        |
| <b>III. Marco teórico.....</b>                                   | <b>25</b> |
| 3.1. Antecedentes de la investigación .....                      | 25        |
| 3.1.1. A nivel internacional.....                                | 25        |
| 3.1.2. A nivel nacional.....                                     | 27        |
| 3.1.3. A nivel regional o local .....                            | 30        |
| 3.2. Bases teóricas.....   | 30        |
| 3.2.1. Cal hidratada al 1%, 2%, 3% .....                         | 30        |
| 3.2.2. Mezclas asfálticas caliente con agregados de Abancay..... | 31        |
| 3.3. Definición de términos .....                                | 33        |
| 3.3.1. Asfalto.....  | 33        |
| 3.3.2. Diseño de mezcla asfáltica .....                          | 33        |
| 3.3.3. Características de las Mezclas bituminosas.....           | 33        |
| 3.3.4. Resistencia a la fatiga .....                             | 34        |
| 3.3.5. Obstrucción por fatiga.....                               | 34        |
| 3.3.6. Oposición al movimiento.....                              | 34        |
| 3.3.7. Resistencia al deslizamiento.....                         | 34        |
| 3.3.8. Agregado grueso .....                                     | 34        |
| 3.3.9. Agregado fino .....                                       | 35        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.10. Análisis granulométrico.....  | 35        |
| 3.3.11. Peso unitario suelto y compactado .....                               | 35        |
| 3.3.12. Ensayo de equivalente de arena.....                                   | 35        |
| <b>IV. Metodología .....</b>  | <b>36</b> |
| 4.1. Tipo y nivel de investigación.....                                       | 36        |
| 4.1.1. Tipo de investigación .....  | 36        |
| 4.1.2. Nivel de investigación .....   | 36        |
| 4.1.3. Diseño de la investigación .....                                       | 36        |
| 4.2. Ámbito temporal y espacial.....  | 36        |
| 4.2.1. Espacial .....   | 36        |
| 4.2.2. Temporal .....   | 36        |
| 4.3. Población y muestra.....   | 36        |
| 4.3.1. Población.....   | 36        |
| 4.3.2. Muestra.....   | 37        |
| 4.4. Instrumentos.....  | 37        |
| 4.5. Procedimientos.....  | 38        |
| 4.6. Análisis de datos .....  | 38        |
| 4.7. Consideraciones éticas .....   | 38        |
| <b>V. Resultados y discusión .....</b>  | <b>39</b> |
| 5.1. Resultados .....   | 39        |
| 5.1.1. Resistencia de deformación a la MAC usando el ensayo de Marshall.....  | 39        |
| 5.1.2. Metodología de mezcla con asfalto según diseño - ensayo Marshall ..... | 45        |
| 5.1.3. Procedimiento de diseño Marshall de una MAC con cal hidratada .....    | 50        |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.1.4. Contenido ideal de cal hidrata vs el % de asfalto según Marshall ..... | 52        |
| 5.1.5. Resultados obtenidos de Marshall .....                                 | 55        |
| 5.1.6. Resistencia a la compresión diametral mediante el ensayo TSR .....     | 58        |
| 5.1.7. Ensayo de cántabro – procedimiento .....                               | 60        |
| 5.2. Discusión de resultados .....  | 63        |
| 5.2.1. Discusión de resultado del objetivo general .....                      | 63        |
| 5.2.2. Discusión de resultado del objetivo específico 1 .....                 | 63        |
| 5.2.3. Discusión de resultado del objetivo específico 2 .....                 | 63        |
| 5.2.4. Discusión de resultado del objetivo específico 3 .....                 | 64        |
| 5.3. Prueba de hipótesis general .....  | 64        |
| 5.4. Hipótesis específicas .....  | 65        |
| 5.4.1. Hipótesis específica 1 .....   | 65        |
| 5.4.2. Hipótesis específica 2 .....   | 69        |
| 5.4.3. Hipótesis específica 3 .....   | 71        |
| <b>VI. Conclusiones.....</b>  | <b>73</b> |
| 6.1. Conclusión del objetivo general.....                                     | 73        |
| 6.1.1. Conclusión del objetivo específico 1 .....                             | 74        |
| 6.1.2. Conclusión del objetivo específico 2 .....                             | 74        |
| 6.1.3. Conclusión del objetivo específico 3 .....                             | 74        |
| <b>VII. Recomendaciones.....</b>  | <b>75</b> |
| <b>VIII. Referencias.....</b>   | <b>76</b> |
| <b>IX. Anexos .....</b>   | <b>80</b> |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1</b> Variable independiente .....  | 23 |
| <b>Tabla 2</b> Variable dependiente .....  | 24 |
| <b>Tabla 3</b> Ensayo Marshall – MTC E 504 .....   | 37 |
| <b>Tabla 4</b> Ensayo de tracción indirecta – NLT 346/90 .....                               | 37 |
| <b>Tabla 5</b> Ensayo de cántabro – MTC E 515 .....  | 37 |
| <b>Tabla 6</b> Especificaciones técnicas de cemento asfáltico.....                           | 39 |
| <b>Tabla 7</b> Datos del agregado grueso.....  | 40 |
| <b>Tabla 8</b> Rango de aceptación del agregado grueso según la norma MTC.....               | 41 |
| <b>Tabla 9</b> Datos el agregado fino.....   | 42 |
| <b>Tabla 10</b> Rango de aceptación del agregado fino según la norma MTC.....                | 43 |
| <b>Tabla 11</b> Dosificación del agregado grueso y fino en porcentajes (Huso MAC -1).....    | 43 |
| <b>Tabla 12</b> Agregados y su combinación optima según MAC-1 .....                          | 44 |
| <b>Tabla 13</b> Resultados del diseño Marshall – MAC-1 .....                                 | 45 |
| <b>Tabla 14</b> Diseño Marshall, según resultados de laboratorio y especificaciones .....    | 50 |
| <b>Tabla 15</b> Resultados de la MAC con adición de cal hidratada al 1% .....                | 52 |
| <b>Tabla 16</b> Resultados de la MAC con adición de cal hidratada al 2% .....                | 53 |
| <b>Tabla 17</b> Resultados de la MAC con adición de cal hidratada al 3% .....                | 55 |
| <b>Tabla 18</b> Resumen de datos obtenidos de la MAC incorporada con cal hidratada. ....     | 57 |
| <b>Tabla 19</b> Datos de la Resistencia a la compresión diametral (TSR) .....                | 58 |
| <b>Tabla 20</b> Resultados de ensayo cántabro.....   | 61 |
| <b>Tabla 21</b> Resultados de estabilidad con cal hidratada al 1%,2% y 3% .....              | 65 |
| <b>Tabla 22</b> Datos estadístico descriptivos de estabilidad.....                           | 66 |
| <b>Tabla 23</b> Se muestra el análisis de varianza de estabilidad con la cal hidratada ..... | 66 |
| <b>Tabla 24</b> Método Tukey – diferencias de medias según su estabilidad .....              | 66 |
| <b>Tabla 25</b> Datos del flujo con porcentaje de cal hidratada.....                         | 67 |
| <b>Tabla 26</b> Datos estadístico descriptivos de flujo .....                                | 68 |

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>Tabla 27</b> | Se muestra el análisis de varianza de flujo con la cal hidratada.....            | 68 |
| <b>Tabla 28</b> | Método Tukey – diferencias de medias con cal hidratada según su flujo. ....      | 68 |
| <b>Tabla 29</b> | Resultado de las pruebas de tracción indirecta con cal hidratada .....           | 69 |
| <b>Tabla 30</b> | Datos estadísticos descriptivos de tracción indirecta .....                      | 70 |
| <b>Tabla 31</b> | Se muestra el análisis de varianza de tracción indirecta con la cal hidratada .. | 70 |
| <b>Tabla 32</b> | Método Tukey – diferencias de medias con cal hidratada según su TSR .....        | 70 |
| <b>Tabla 33</b> | Resultados de las pruebas de pérdida por desgaste con cal hidratada.....         | 72 |
| <b>Tabla 34</b> | Datos estadísticos descriptivos de pérdida por desgaste.....                     | 72 |
| <b>Tabla 35</b> | Análisis de varianza de pérdida por desgaste con la cal hidratada .....          | 72 |
| <b>Tabla 36</b> | Método Tukey – diferencias de medias y pérdida por desgaste.....                 | 73 |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Curva granulométrica del agregado grueso.....                          | 41 |
| <b>Figura 2</b> Curva granulométrica del agregado fino.....                            | 42 |
| <b>Figura 3</b> Granulometría de la mezcla de agregados.....                           | 45 |
| <b>Figura 4</b> %C. A respecto al peso unitario .....                                  | 46 |
| <b>Figura 5</b> % vacíos respecto al % C.A .....                                       | 47 |
| <b>Figura 6</b> % V.M.A respecto al % C.A.....   | 47 |
| <b>Figura 7</b> % V.F.A respecto al % C.A .....  | 48 |
| <b>Figura 8</b> % de flujo respecto al %V. A .....                                     | 48 |
| <b>Figura 9</b> % estabilidad respecto al % V.A.....                                   | 49 |
| <b>Figura 10</b> % rigidez respecto al % V.A .....                                     | 49 |
| <b>Figura 11</b> Incorporación de cal hidratada al diseño adecuado.....                | 51 |
| <b>Figura 12</b> Extracción de especímenes de MAC.....                                 | 53 |
| <b>Figura 13</b> Se realiza la rotura de especímenes con la maquina Marshall .....     | 54 |
| <b>Figura 14</b> % de cal hidratada respecto a la variación de la estabilidad.....     | 56 |
| <b>Figura 15</b> % de cal hidratada respecto al cambio del flujo.....                  | 56 |
| <b>Figura 16</b> % de cal hidratada con respecto al cambio del índice de rigidez ..... | 57 |
| <b>Figura 17</b> Ensayo de TSR .....   | 59 |
| <b>Figura 18</b> % cal hidrata vs ITS .....  | 59 |
| <b>Figura 19</b> TSR mediante su variabilidad.....                                     | 60 |
| <b>Figura 20</b> Procedimiento del ensayo de cántabro .....                            | 61 |
| <b>Figura 21</b> Perdida por desgaste de las MAC respecto prueba Cántabro .....        | 62 |
| <b>Figura 22</b> Variabilidad de la MAC convencional respecto al % de desgaste.....    | 62 |

## Índice de anexos

|  |     |
|--|-----|
| Anexo 1 Matriz de consistencia .....   | 81  |
| Anexo 2 Diseño de mezcla – método Marshall mezcla asfáltica en caliente. ....                                | 83  |
| Anexo 3 Ensayo de análisis granulométrico grueso. ....   | 97  |
| Anexo 4 Reporte de ensayos previos. ....   | 102 |
| Anexo 5 Ensayo de análisis granulométrico fino. ....   | 121 |
| Anexo 6 Reporte de ensayos previos. ....   | 126 |
| Anexo 7 Informe técnico de ensayo de estabilidad y flujo en briquetas de concreto<br>asfáltico. ....         | 147 |
| Anexo 8 Informe técnico de ensayo de tracción indirecta en briquetas de concreto<br>asfáltico. ....          | 163 |
| Anexo 9 Informe técnico de ensayo de cántabro de pérdida por desgaste y certificados de<br>calibración. .... | 176 |

## **I. Introducción**

La pavimentación de carreteras es un elemento clave de la infraestructura vial, los materiales utilizados en la mezcla de asfaltos asumen un papel crucial en la durabilidad de las vías. En el Perú, explícitamente en nuestra ciudad de Abancay, existe una decadencia sobresaliente de asfaltos en varios sitios de la ciudad, esto se debe a mezclas asfálticas tradicionales y de nuevas estrategias y materiales, por lo que la población en general se encuentra decepcionada ya que los vehículos no se pueden conducir libremente. El presente proyecto de tesis tiene como objetivo mejorar el comportamiento mecánico del MAC, incorporando la cal hidratada en porcentajes de 1%,2%, 3%, lo que puede resultar en una mayor resistencia a la deformación, una mejora en la durabilidad de la superficie y una mayor resistencia a las condiciones climáticas extremas.

Sus resultados se basan en pruebas de laboratorio de las mezclas asfálticas en caliente (MAC), la estructura de la investigación está organizada de la siguiente manera: I. Introducción, II. Planeamiento del Problema, refleja la indispensabilidad de incorporar nuevos materiales en el proceso constructivo de pavimentos tales como la cal hidratada con la intención de mejorar las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas, III. Marco teórico, proporciona el sustento teórico y científico de las variables a estudiar. IV. Metodología, elabora enfoques metodológicos, detallando, los tipos, diseño, nivel e instrumentos. V. Resultado y discusión, describe los hallazgos y resultado analítico de las variables a estudiar refiriéndose a los procedimientos de laboratorio. VI. Conclusiones, VII. Recomendaciones, VIII. Bibliografía y por último IX. Anexos.

## **II. Planteamiento del problema**

### **2.1. Descripción y formulación del problema**

#### **2.1.1. Descripción**

En Bogotá, existe un elevado grado de debilitamiento en las calles, bajo el examen visual del asfalto en algunas de las zonas más activas, se observan daños superficiales como por ejemplo, desgaste, rotura, desfiguración, ahuellamiento, aberturas, baches, piel de cocodrilo, roturas transversales y longitudinales, las causas que producen estos gestos están directamente relacionadas con un elevado tráfico de vehículos, el clima, un pésimo proceso constructivo, materiales de mala calidad o un mal diseño del pavimento. El lamentable estado de las calles y el daño que produce en la ciudad pone al descubierto la mala calidad de las mezclas asfálticas, así como los materiales utilizados para su producción, un material pétreo de malos atributos influye directamente en la duración del pavimento, cuando se expone al peso que generan los vehículos sin tener la fuerza de soporte produce deformaciones plásticas, roturas por desgaste y diferentes fallos. (Olaya y Raigoso, 2023)

En Costa Rica el daño de la humedad es uno de los problemas primarios que se muestra en el asfalto, siendo este un país con un clima cálido donde la temporada lluviosa comprende a medio año. Los diferentes decaimientos de las calles influyen en la velocidad del tráfico debido a las deformaciones, baches, diferentes roturas y otros daños que se producen. En cualquier caso, no sólo es la tranquilidad de los clientes, sino que, dependiendo del grado de deterioro, pueden producirse percances durante la conducción de vehículos, por lo tanto, pone en contra a la seguridad vial. (Kikut, 2020, p.15)

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2022), se sumaron más de 239 kilómetros de calles pavimentadas, reuniendo una suma de 22,623 km, siendo más del 80% de la RVN, y las inversiones llegaron a S/. 3400 millones, lo que implicó una recuperación de más del 20% en la ejecución de obras en contraste con el año del 2020. (Gob, 2022, párrafo primero)

El SINAC ha inscrito a un total de 12.689 cursos, distribuidos en 160 autopistas públicas, 454 rutas departamentales y 12.075 rutas vecinales. No obstante, 1.997 rutas vecinales no han sido registrados y están siendo inscritos en el RENAC para formar parte del SINAC, lo que constituiría una suma de 14.072 rutas vecinales. El SINAC estaría compuesto por una suma de 14.686 cursos considerando los tres sistemas progresivos de redes viales. (Gob, 2023, párrafo primero)

En la localidad de Junín, el deterioro del asfalto es constante debido a los diferentes factores sean ambientales o por su diseño, y no hay un procedimiento de gestión de pavimentos establecido, debido a que no realizan mantenimiento cuando es necesario. Otro problema es el tráfico vehicular, lo cual provoca una exigencia mayor en el pavimento, por lo tanto, es necesario el uso de insumos de alta calidad en la construcción de pavimentos. Los daños provocados por la gradiente térmica que sufre el asfalto, son una de las causas principales de su debilitamiento. (Orellana, 2019)

En la ciudad de Abancay, en la Carretera Panamericana desde el Km 2+500 al Km 2+820, existe deterioro de los pavimentos flexibles debido a que presentan deformaciones permanentes, desgaste y separación. Se ha reconocido que los pavimentos flexibles de las rutas de acceso, caminos y carreteras presentan diferentes deficiencias. Éstas incorporan imperfecciones permanentes, fallas por fatiga y desprendimientos de los agregados asfálticos. Estos problemas conjuntamente con las precipitaciones pluviales, causan un debilitamiento estructural en el pavimento asfáltico, que impacta negativamente en el ciclo de duración del pavimento como la calidad del tránsito vehicular. El lamentable estado de las calles representa una amenaza a la seguridad de los conductores, debido a que aumenta la probabilidad de accidentes.

## **2.1.2. *Formulación del Problema***

### **2.1.2.1. Problema General**

¿En qué medida influye la cal hidratada al 1%, 2%, 3% en la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay, Apurímac - 2024?

### **2.1.2.2. Problema Específico**

- a) ¿En qué medida influye la cal hidratada al 1%, 2%, 3% con respecto a la resistencia de deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo Marshall?
- b) ¿En qué medida influye la cal hidratada al 1%, 2%, 3% con respecto a la resistencia de tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a la compresión diametral?
- c) ¿En qué medida influye la cal hidratada al 1%, 2%, 3% con respecto a la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de cántabro?

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo General**

Evaluar la influencia de la cal hidratada al 1%, 2%, 3% en la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay, Apurímac - 2024

### **2.2.2. Objetivos Específicos**

- a) Determinar la influencia de la cal hidratada al 1%, 2%, 3% con respecto a la resistencia de deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo Marshall.
- b) Determinar la influencia de la cal hidratada al 1%, 2%, 3% con respecto a la resistencia de tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a la compresión diametral
- c) Determinar la influencia de la cal hidratada al 1%, 2%, 3% con respecto a la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de cántabro.

## **2.3. Justificación e importancia**

### **2.3.1. Justificación**

Desde el aspecto teórico tiene como finalidad estudiar la influencia de la cal hidratada en mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay, donde no se encontraron investigaciones en el departamento de Apurímac. En función de los resultados, pueden utilizarse para aumentar el esfuerzo y ciclo de vida de la carpeta asfáltica.

Socialmente se justifica, ya que agregar cal hidratada en mezcla asfáltica en caliente evitará las fallas prematuras en el pavimento, disminuyendo la incertidumbre en las calles y asegurando un tránsito adecuado de automóviles y peatones.

Económicamente se justifica, la incorporación de la cal hidratada es un insumo de gasto mínimo que puede disminuir el gasto total del suministro de mezclas asfálticas, haciendo que los proyectos de carreteras sean más razonables. Al trabajar sobre las características mecánicas de la mezcla, se espera que los pavimentos tengan una vida útil más prolongada. Esto disminuye la necesidad de mantenimiento y reparaciones, generando fondos de reserva a largo plazo.

### **2.3.2. Importancia**

En el aspecto práctico, trata de aportar datos existentes sobre el impacto de cal hidratada en las MAC. La cal hidratada ayuda a incrementar la resistencia a la deformación, el desgaste y rotura, lo que ampliaría su vida útil. Disminuiría la necesidad de reparaciones continuas, lo que a su vez reduciría la explotación de materias primas y la generación de desechos. Esto contribuiría a la sostenibilidad ecológica de las obras viales.

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La cal hidratada al 1%, 2%, 3% influye en la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay, Apurímac – 2024.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

a. La cal hidratada al 1%, 2%, 3% influye en la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo Marshall.

**b.** La cal hidratada al 1%, 2%, 3% influye en la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a la compresión diametral.

**c.** La cal hidratada al 1%, 2%, 3% influye en la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de cántabro.

## **2.5. Variables**

Es un proceso lógico de desagregación de los componentes más singulares, hasta llegar al nivel más esencial. Las ideas hipotéticas para llegar al nivel más sustancial, las realidades creadas verdaderamente y que abordan signos de la idea, sin embargo, que podamos notar, recoger, evaluar, en otras palabras, sus indicadores y dimensiones. (Alvarez y Olmo, 2014).

**VI:** cal hidratada al 1%, 2%, 3%

**VD:** mezcla asfáltica caliente

Tabla 1

*Variable independiente.*

| VARIABLE INDEPENDIENTE | DEFINICION CONCEPTUAL   | DEFINICION OPERACIONAL                                   | DIMENSIONES              | INDICADOR  | INDICE | ESCALA DE MEDICION |
|------------------------|---|--|--------------------------|--|--------|--------------------|
| Cal hidratada          | Es un insumo, que confiere propiedades extraordinarias y les permite ampliar su valiosa vida útil. Se ha observado que los índices típicos en los que se utiliza esta sustancia añadida se sitúan entre el 1% y el 2% en peso de los agregados. (Gomez y Matamoros, 2022) | Se utiliza la cal hidratada y se expresa en porcentajes. | Efecto del Cal hidratada | Porcentaje (%)<br>(peso en función de los agregados) | 0 %    | Razón              |
|                        |   |  |                          |  | 1 %    |                    |
|                        |   |  |                          |  | 2 %    |                    |
|                        |   |  |                          |  | 3 %    |                    |

*Nota:* en la tabla, se muestra la variable independiente y sus características. Fuente: elaboración propia

Tabla 2

*Variable dependiente*

| VARIABLE DEPENDIENTE               | Def. CONCEPTUAL  | Def. OPERACIONAL                            | DIMENSIONES O NIVEL                 | INDICADORES                                 | INDICES                          | Unid.Med.          | INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS | HERRAMIENTAS   |
|------------------------------------|--|---|-------------------------------------|---|----------------------------------|--------------------|--------------------------------------|--|
| Mezcla asfáltica en caliente (MAC) | Se caracteriza por ser la estructura de un ligante hidrocarbonado, agregado fino y grueso, incorporando residuos minerales y, a la larga aditivos. (Pérez, 2004, citado por Gomez y Matamoros, 2022) | MAC, se realiza las pruebas de los ensayos. |                                     | Estabilidad                                 |                                  | Kg/cm              | Ficha de recolección de datos        |  |
|                                    |  |   | Resistencia a la deformación        | Flujo                                       | Deformación                      | mm                 | Ficha de recolección de datos        | MTC E 504 manual de ensayos de materiales                        |
|                                    |  |   |                                     | Índice de rigidez                           |                                  | Kg/cm              | Ficha de recolección de datos        |  |
|                                    |  |   | Resistencia a la tracción indirecta | Resistencia a la tracción indirecta         | Rotura por esfuerzo a la tensión | Kg/cm <sup>2</sup> | Ficha de recolección de datos        | NLT-346/90 a resistencia compresión diametral (ensayo brasileño) |
|                                    |  |   | Resistencia al desgaste             | % de pérdida de masa asfáltica por desgaste | % de desgaste                    | %                  | Ficha de recolección de datos        | MTC E 515 manual de ensayos de materiales                        |

*Nota:* en la tabla, se muestra la variable dependiente y sus características. Fuente: creación propia

### **III. Marco teórico**

#### **3.1. Antecedentes de la investigación**

##### **3.1.1. A nivel internacional**

Según Olaya y Raigoso (2023), el propósito de la investigación fue analizar la mejora del contenido asfáltico para una MAC MD-25 mediante la integración de cal hidratada como sustancia añadida a los agregados, mediante el procedimiento Marshall. Se inspeccionó una suma de 48 briquetas, con una variedad de cemento asfáltico y cambiando el contenido de cal hidratada entre 0%, 1% y 1,5%. Los resultados fueron, para un 0% de cal hidratada un contenido ideal del 6,4%, con un 1% de cal hidratada un porcentaje ideal de 6% y para un 1,5% de cal hidratada con porcentaje ideal del 6,3%, demostrando así que la cal hidratada admite reducir el nivel de cemento asfáltico hasta un 0,4%. Concluyendo que la sustancia de cal hidratada produce una mejora más prominente del cemento asfáltico que se relaciona con el 1%, siendo esta la tasa donde se distingue una unión más notable entre los materiales, asegurando que la combinación mezcla asfáltica prevista consiente las determinaciones con un contenido menor de cemento y mejora o mantiene su calidad.

Según Romero y Sánchez (2022), en su investigación su finalidad fue la ejecución de la fibra de abacá y cal para trabajar en las características de una mezcla asfáltica usando la estrategia de Marshall. Su tipo de investigación es experimental, tenía como pruebas una suma de 18 briquetas. Se obtuvo como resultado que la mezcla modificada con 2,5% de cal y 0,5% de fibra de abacá, tuvo superiores cualidades, obteniendo una expansión en la estabilidad y con relación a la mezcla habitual con en el flujo redujo el valor normal. Se concluyo que al incorporar la fibra de abacá y la cal en mezcla asfáltica desarrolla aún más la característica mecánica, en tanto el nivel de huecos pasa los límites tolerados por la normativa.

Según Bermeo y Nicole (2021), en su estudio tuvo como objetivo evaluar las características mecánicas de una composición común al agregar cal hidratada en cantidades controladas sobre los insumos. Su tipo de investigación es experimental, con

un total de 105 briquetas como muestras. El resultado de la MAC con 1% de cal hidratada soporta en una media de tres briquetas hasta 2182 pulsos para una deformación, mientras que la mezcla asfáltica tradicional soporta hasta 626 pulsos. Siendo un valor crítico para demostrar que la existencia del ciclo de vida de la combinación complementado con cal tiene superior resistencia al soportar esfuerzos diarios. Se concluyo que el 1% de cal hidratada amplía el ciclo de vida del pavimento asfáltico, así como admite una adherencia superior entre los agregados y el betún.

Según Domínguez (2021), el propósito de su estudio era producir una relación de calidad e costo, en función a los agregados y su eficacia, para preparar mezclas asfálticas en caliente con la ventaja de estar listo con materiales del sitio, debido a los modificadores. Su metodología es experimental, ya que comprendió en la fabricación de briquetas con mezclas asfálticas en caliente (MAC), con asfalto, ajustado con azufre, Cal y PET en varias tasas. Se inspeccionaron un total de 180 ejemplos. El mejor resultado fue la mezcla de 2% de cal con 7% de azufre produciendo un límite de carga superior, tanto para el material calizo como para el no calizo. Se finalizó que las sustancias añadidas (modificadores) actuaban en exposición de las MAC.

Según Vasquez (2021), su objetivo era analizar los diversos adherentes empleados en el asfalto en caliente, las tasas ideales, y las diversas estrategias utilizadas para encontrar la resistencia a la humedad. Su método fue cualitativo y la prueba de adherencia Vialit, esta estrategia es aplicada para decidir la capacidad de adhesión del aglutinante y los agregados. Uno de los principales causantes de la decepción del asfalto inoportuno es el daño de la humedad a la carpeta asfáltica, por lo que se determinó el impacto de las sustancias añadidas, como es la cal hidratada y betún agregado con polímero elastomérico utilizando la prueba de Lottman modificado. Los resultados mostraron que el agregar la cal hidratada y el ajuste del polímero mejoraron el esfuerzo de las mezclas asfálticas al impacto negativo del agua. Se concluyo que la influencia de la cal hidratada, en respuesta a la humedad del HMA aplicando ideas termodinámicas y la estrategia de energía libre

superficial, mostró descubrimientos favorables con el contenido ideal de cal hidratada del 1,5% y 2%, de esta manera mejorando así la adherencia y la resistencia a la humedad.

Según Kikut (2020), El objetivo de su estudio era la revisión era comprender las técnicas por las que se añade la cal hidratada, la medición del mezclado y el incremento que aporta a diferentes factores desfavorables que influyen en la MAC. Se utilizó el método de la cuantificación, que utiliza (FTIR), se usó en el cálculo del contenido de cal hidratada en asfaltos. Las cantidades de adición de cal hidratada fueron del 1%, 1,5% y 2%. El que dio los mejores resultados fue el 1,5%, ya que con esta suma se obtuvo la mejor fiabilidad de la mezcla, y la debilidad de la capa superior negra a la maduración sintética disminuyó a través de una lenta expansión del espesor. Del mismo modo, se produce una disminución en el desarrollo de carbonilos en los pavimentos modificados; este impacto surge a temperaturas superiores a 88°C. Además, con una utilización del 10% de cal hidratada, la mayoría de los ácidos del pavimento negro fueron eliminados. Se concluyó que el asfalto de 12,5 mm cambiado con cal tiene mejor protección contra los daños de la humedad.

### **3.1.2. A nivel nacional**

Según Verastegui y Vilela (2024), en su ensayo su propósito fue utilizar el método PCI y la prueba Marshall para obtener la eficacia de la micro pavimentación con cal hidratada, se usó un total de 24 briquetas. Utilizaron tasas de 1% y 2% de cal, y los resultados de la prueba Marshall mostraron que la mezcla con 8% de cemento asfáltico y 1% de cal hidratada sigue cada una de las características técnicas, mostrando cualidades ideales en vacíos de aire, flujo, compensado deficiencias, proponiendo buena durabilidad y resistencia. Se concluyó que el agregar el 1,0% de cal hidratada a la mezcla asfáltica ha demostrado que funciona esencialmente en las características mecánicas y el esfuerzo del asfalto, como lo indican los resultados de la prueba Marshall. La cal hidratada refuerza el diseño interior de la mezcla y aumentando su cohesión. Lo que implica que el asfalto está mejor preparado para soportar cargas de tráfico sin experimentar deformación indeseable. Además, la cal hidratada disminuye susceptibilidad del pavimento y la rotura por agotamiento, lo que aumenta su vida útil y disminuye la necesidad del mantenimiento.

Según Venega y Zuñiga (2023), la finalidad de esta investigación era decidir el efecto de añadir cal hidratada y el polvo de bloque como adición mineral en la MAC. Su tipo de investigación es aplicada, su cantidad de muestras fue de 160 briquetas. Como rellenos minerales, este estudio consideró el uso de polvo de bloque del 4% al 13%, así como de cal hidratada del 4% al 16%. Como resultado presento mejoría en las características logrando un nivel ideal de 8% de cal hidratada y 10% para el polvo de bloque como relleno mineral, correspondiente a la estabilidad de flujo de 3208,8 kg/cm. Se concluyo que la cal hidratada y el polvo de bloque son adecuados para la mezcla asfáltica.

Según Coronel y García (2023), tuvo como finalidad estudiar la incorporación de la fibra de abacá y la cal hidratada para la mejora del MAC. El diseño fue experimental y el espécimen consistió en 33 briquetas que contenían cal y fibra. Se realizó una investigación de diferencias sobre los impactos del agregar fibra y cal en contraste con la combinación de la mezcla de asfalto. Los resultados mostraron enormes contrastes en la estabilidad, al poner fibra al 1,0% y al 1,5%, así como cal al 1,5% y al 2,0%. Esencialmente, se apreciaron diferencias en la fluencia referentes a la fibra y cal, se concluyó que la fibra al 1,5% y la cal al 2,0% afectaron a la mejora de la MAC.

Según Gómez y Matamoros (2022), realizó un estudio con el fin de averiguar cómo se ve afectada la resistencia del asfalto en caliente al adicionar cal hidratada. Seis briquetas de asfalto en caliente sirvieron como pruebas en este diseño de investigación experimental. Se uso el procedimiento Marshall para el plan de mezclas en caliente y en frío, con índices de consolidación del 0,5% al 2,5%, dando como resultado un esfuerzo a compresión de  $f'c = 54,80 \text{ kg/cm}^2$  con 0,5% de cal hidratada, superando al asfalto común. De esta manera, se concluyó que la utilización de MAC con 0,5% de cal hidratada en las vías rápidas de Huancavelica, debido a su viabilidad como una sustancia añadida para combatir el envejecimiento y desarrollar aún más la adherencia entre el agregado y el asfalto, elementos clave para mejorar la durabilidad del pavimento.

Según Ramos y Zamudio (2022), en su indagación tuvo como propósito, analizar el comportamiento mecánico en el planteamiento de la MAC incorporando cal hidratada, la

cual que procura elevar nuevas opciones para mejorar su desempeño en las MAC. Con un tamaño de muestra de 64 briquetas, el planteamiento de la investigación es experimental. Utilizó un cemento asfáltico 60/70 para producir briquetas con tasas del 0% al 3% de cal hidratada; a través de la prueba Marshall, se resolvió que el índice de esfuerzo retenido del planteamiento estándar y el alterado muestra un aumento de 10.43%, determinando que la deformabilidad en la MAC al adicionar 1% de cal hidratada en relación al planteamiento estándar presentó un aumento en la estabilidad siendo un resultado favorable, con una ligera expansión en la longitud de flujo y mostrando un patrón ascendente en la rigidez. Se concluye que estas cualidades cumplen a los límites del diseño.

Según Chalco y Muñoz (2021), la intención del estudio fue observar el beneficio de cal hidratada, el cemento, la puzolana y la arena en polvo, como material de relleno en mezclas asfálticas en caliente, frente al desmoronamiento provocado por la humedad con la finalidad de proponer opciones para los pavimentos asfálticos para mejorar la resistencia en el agua. Se llevó a cabo la combinación de la MAC, con cada sustancia utilizando la técnica Marshall. Los resultados mostraron que la función de cada sustancia añadida y del aditivo mejoraron la adherencia. Se concluye que la utilización de cal hidratada como filler, proporciona una increíble protección contra los perjuicios producidos por la humedad, la cal hidratada referente al ensayo de tracción indirecta tuvo un valor de 101.04%, lo que la califica como el de mayor resistencia en contraste con los diferentes materiales.

Según Santa Cruz (2021), en su estudio tiene como finalidad determinar la posibilidad de crear asfalto en caliente usando material asfáltico reciclado. El estudio es de clase aplicada y su planteamiento es experimental. Como prueba se utilizan 70 muestras de mezclas bituminosas en caliente. Los resultados muestran que, al utilizar material reutilizado (RAP) con un 1,5% de cal, se reduce el flujo, lo que revela un crecimiento en la rigidez de la mezcla. Además, esta combinación aporta propiedades elásticas, mejorando su capacidad para resistir deformaciones. En conclusión, la mezcla con RAP y cal muestra una mayor rigidez en referencia con la mezcla convencional, lo que la hace más eficiente para soportar cargas vehiculares prolongadas sin sufrir deformaciones permanentes.

### **3.1.3. A nivel regional o local**

No se reconocieron estudios previos en el ámbito regional o local sobre el tema.

## **3.2. Bases teóricas**

### **3.2.1. Cal hidratada al 1%, 2%, 3%**

Es llamada también cal apagada, se utiliza regularmente en la MAC ya que les confiere propiedades extraordinarias y permite ampliar su vida útil. Se ha observado que los índices típicos en los que se utiliza esta sustancia añadida se refieren a un alcance entre el 1%-2% en peso de los agregados. Además, la participación de la cal como sustancia añadida húmeda actúa para mejorar la dureza del asfalto. (Gomez y Matamoros, 2022)

#### **3.2.1.1. Propiedades de la cal hidratada**

- No es inflamable.
- No tiene potencial de explosión
- El óxido de calcio responde con los ácidos

#### **3.2.1.2. Efectos de la cal hidratada**

- Da una mayor vida útil en las carreteras reflejada a largo plazo. Esto se debe a que la cal hidratada actúa como aditivo ante el desgaste, lo que aumenta la resistencia de la mezcla a la humedad. Según estudios anteriores, los resultados logrados en términos de rendimiento en campo han sido buenas, ya que las rajaduras y fisuras han tardado más en surgir en referencia con la MAC sin aditivos. (Chalco y Muñoz, 2021)
- Al agregar la cal hidratada mejora el esfuerzo a la fatiga, teniendo menos efecto a las variaciones de temperatura. Además, la cal tiene un efecto endurecedor cuando está presente en la mezcla a temperaturas altas. (Chalco y Muñoz, 2021)

- La cal en una MAC contrarresta la contracción y el encogimiento provocados por la temperatura, lo que permite que la energía y las tensiones térmicas generadas se disipen en lugar de provocar fracturas. La reacción que se produce entre la MAC y la cal hidratada da lugar al endurecimiento de los huecos que existen entre el betún y el agregado. Además de reaccionar, para formar sales insolubles que repelen el agua.

### **3.2.2. Mezclas asfálticas caliente con agregados de Abancay**

#### **3.2.2.1. Mezcla asfáltica caliente**

- Se caracteriza por ser la agrupación de un ligante hidrocarbonado, que incluyen residuos minerales y agregados, como también aditivos, de modo que las partículas de los agregados se encuentren cubiertas por una capa homogénea de ligante. (Pérez, 2004, citado por Gomez y Matamoros, 2022)

#### **3.2.2.2. Ensayo Marshall**

- Las deformaciones en las MAC se presentan frecuentemente como patologías hechas por diferentes factores como puede ser el tráfico y el clima cálido; los límites para la determinación de la deformación se examinan a través de la estabilidad y el flujo Marshall. Este ensayo se emite para conocer los valores como la estabilidad y el flujo en la MAC, a través de una fuerza de deformación que se controla a 50,8 mm/min. (Ramos y Zamudio, 2022)

##### **a) Resistencia a la deformación permanente (estabilidad).**

- La deformación permanente puede ser el resultado de la acumulación de pequeñas deformaciones provocadas por cargas repetidas aplicadas al pavimento. El pavimento será resistente a la variación permanente y no se deformará con el tránsito, si se diseña y construye correctamente un MAC. Depende principalmente de la adherencia interna proporcionada por el agregado y la adhesión que puede proporcionar el cemento asfáltico. En otras palabras, el uso de un agregado angular aumentará la duración de la mezcla. La deformación se debe principalmente al fallo

de las capas menores y a la estabilidad inoportuna de la mezcla. (Chalco y Muñoz, 2021)

**b) Flujo**

- Se relaciona con la estabilidad de las MAC, ya que se mide tras el fallo de la muestra durante la prueba Marshall. Cuanto más altos sean los valores de fluencia, más plástica será la mezcla asfáltica y más fácilmente se deformará bajo las cargas del tráfico vehicular. Si el valor de la fluencia es bajo, el pavimento asfáltico presentará una rotura frágil. (Santa Cruz, 2021)

**c) Índice de rigidez**

- Se calcula por el método Marshall, siendo de la relación entre la estabilidad y fluidez. Cuando el índice de rigidez es alto, el pavimento asfáltico será poco flexible y más frágil, y si el índice de rigidez es bajo, el pavimento asfáltico será más flexible. (Santa Cruz, 2021)

**3.2.2.3. Resistencia a la tracción indirecta**

- El ensayo de TSR, se emplea para determinar la susceptibilidad a largo plazo de las MAC compactadas. Esta prueba calcula el cambio en la resistencia a la tracción diametral, a causa de la saturación y el acondicionamiento acelerado con agua mediante un ciclo de congelación-descongelación. (Santa Cruz, 2021)

**a) Ensayo de resistencia a la compresión diametral**

- Es un ensayo donde se aplica una fuerza constante por esfuerzo diametral a una briqueta, que se utiliza para la prueba Marshall, en la que se alcanza la rotura. (Ramos y Zamudio, 2022)

**3.2.2.4. Resistencia al desgaste**

- Se utiliza la máquina de Los Ángeles para determinar el valor de la pérdida por desgaste MAC. Evalúa la cohesión, la adhesión y la resistencia a la desintegración

de la MAC, frente a los efectos abrasivos y de succión provocados por el tráfico. (Santa Cruz, 2021)

#### **a) Ensayo de cántabro**

- Se realiza para medir el esfuerzo a la desintegración. La técnica de este ensayo corresponde a la sección MTC E 515 – Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste, que estima la cohesión, resistencia a la disgregación ante efectos abrasivos propios del tráfico. La MAC mediante la prueba de cántabro se observa la pérdida por desgaste. Se utiliza colocando una probeta en el equipo de ensayo de Los Ángeles y sometiéndola sin peso, prácticamente un ciclo de desgaste. Decidiendo posteriormente cuánto material se pierde en este proceso, referido al peso de inicio de la probeta. (Valera, 2018)

### **3.3. Definición de términos**

#### **3.3.1. *Asfalto***

Es una sustancia de color negro utilizada para la pavimentación de carreteras, es lo más habitual a lo largo del siglo, teniendo asfalto en caliente y en frío. (Venega y Zuñiga, 2023)

#### **3.3.2. *Diseño de mezcla asfáltica***

Provee cualidades en una composición, uniendo agregados y ligante. Cuando se modifica, presenta un rendimiento excepcional para soportar fallos como deformaciones permanentes, cargas y resistencia al deslizamiento. (Ramos y Zamudio, 2022)

#### **3.3.3. *Características de las Mezclas bituminosas***

- Estabilidad.
- Durabilidad.
- La impermeabilidad.
- La trabajabilidad.
- La flexibilidad. (Venega y Zuñiga, 2023)

#### **3.3.4. Resistencia a la fatiga**

Las indagaciones han verificado que los huecos y la densidad del asfalto afectan a la capacidad de carga al desgaste. La resistencia al desgaste del asfalto disminuye a medida que incrementa el nivel de vacíos en el pavimento, ya sea por diseño o inadecuada compactación. Del mismo modo, un pavimento cuyo asfalto ha envejecido y se ha solidificado de forma impresionante tiene una menor resistencia a la fatiga. (Gomez y Matamoros, 2022)

#### **3.3.5. Obstrucción por fatiga.**

La seguridad frente a la oquedad, mantenido por cargas de tráfico. (Venega y Zuñiga, 2023)

#### **3.3.6. Oposición al movimiento.**

El tamaño de una superficie para restringir el desplazamiento de las llantas del coche, sobre todo cuando el sitio está mojado. (Venega y Zuñiga, 2023).

#### **3.3.7. Resistencia al deslizamiento**

Capacidad de un área de asfalto para limitar el movimiento de las ruedas de un vehículo, específicamente cuando la zona está mojada. Para conseguir el esfuerzo al derrape, la rueda debe tener la opción de permanecer en interacción con los elementos del agregado en lugar de moverse sobre una película de agua en la superficie asfáltica. La resistencia al derrape se estima sobre el terreno con un neumático estándar bajo estados controlados de humedad sobre el área de asfalto. (Gomez y Matamoros, 2022)

#### **3.3.8. Agregado grueso**

Es la materia retenida por el tamiz N°4 (4,75 mm). Se produce principalmente por el chancado de rocas, piedras o una mezcla de ambas, pero también puede aparecer de forma natural en estado fracturado. No debe contener polvo, fragmentos de tierra ni ninguna otra partícula que pueda hacer que el asfalto no se pegue totalmente. (Chalco y Muñoz, 2021)

### **3.3.9. Agregado fino**

Pasa por el tamiz N°4 y es retenida por la N°200 se denomina agregado fino. En general se compone de arena natural, aunque en algunos casos contiene trozos pequeños de roca o piedra aplastada. (Chalco y Muñoz, 2021)

### **3.3.10. Análisis granulométrico**

La MTC E 204, mediante esta prueba podemos decidir la gradación de los agregados finos o gruesos, utilizando los diferentes tamices estandarizados. Esto se hace con la intención de concluir si el insumo cumple o no con los estándares de granulometría de las propiedades técnicas. (MTC, 2016)

### **3.3.11. Peso unitario suelto y compactado**

El MTC E 203, este estudio determina el peso unitario suelto y compactado de áridos. El peso unitario suelto se utiliza para calcular la correlación entre masa y volumen con el fin de conocer las equivalencias. En el caso de que deba transportarse o almacenarse, el peso unitario compactado se utiliza con el fin de hallar el porcentaje de compactación. (MTC, 2016)

### **3.3.12. Ensayo de equivalente de arena**

Es una prueba rápida de conexión sobre el terreno. Este método se desarrolló con la intención de demostrar, en condiciones típicas, las cantidades de suelos finos arcillosos o plásticos y residuos en los suelos granulares, finos que pasan el tamiz n° 4 (4,75 mm). (MTC, 2016)

## **IV. Metodología**

### **4.1. Tipo y nivel de investigación**

#### **4.1.1. Tipo de investigación**

Es de tipo aplicada, se refiere a la idea de que la investigación pretende poner en uso la información que recoge, asegurándose al mismo tiempo a otros. (Vargas, 2009, p.155)

#### **4.1.2. Nivel de investigación**

Tiene nivel explicativo, trata de hallar la causa y la consecuencia de los componentes importantes para el investigador. (Arias, 2012)

#### **4.1.3. Diseño de la investigación**

Es experimental y alcanza el control de al menos uno de los componentes de prueba no probados bajo condiciones estrictamente controladas para retratar cómo o por qué sucede una circunstancia u ocasión específica. (Grajales, 2000)

### **4.2. Ámbito temporal y espacial**

#### **4.2.1. Espacial**

Los presentes estudios se realizarán en la localidad de Abancay, distrito de Abancay - departamento de Apurímac.

#### **4.2.2. Temporal**

Se llevo a cabo en el mes de diciembre de 2024 hasta febrero del año 2025.

### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1. Población**

La investigación es compuesta por la mezcla asfáltica en caliente modificada con la incorporación de cal hidratada al 1%, 2%, 3%. La población de revisión es una disposición caracterizada, restringida y abierta de casos, que enmarcará la referencia para la decisión del ejemplo, y que cumple varias reglas preestablecidas. Se toma como población a 36 unidades en total de mezclas asfáltica en caliente. (Arias Gómez, 2016, p.201)

**Tabla 3***Ensayo Marshall – MTC E 504*

| Mezcla asfáltica | % cal hidratada |    |    |    | Cantidad de pruebas |
|------------------|-----------------|----|----|----|---------------------|
|                  | 0%              | 1% | 2% | 3% |                     |
| Ensayo Marshall  | 3               | 3  | 3  | 3  | 12                  |

*Nota:* en la tabla, se visualiza que el 0% es la base patrón de mezcla asfáltica en caliente sin añadir cal. Fuente: elaboración propia.

**Tabla 4***Ensayo de tracción indirecta – NLT 346/90*

| MAC                | % cal hidratada |    |    |    | Cantidad de pruebas |
|--------------------|-----------------|----|----|----|---------------------|
|                    | 0%              | 1% | 2% | 3% |                     |
| Tracción indirecta | 3               | 3  | 3  | 3  | 12                  |

*Nota:* en la tabla, se visualiza que el 0% es la base patrón de mezcla asfáltica en caliente sin añadir cal. Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5***Ensayo de cántabro – MTC E 515*

| MAC                      | % cal hidratada |    |    |    | Cantidad de pruebas |
|--------------------------|-----------------|----|----|----|---------------------|
|                          | 0%              | 1% | 2% | 3% |                     |
| resistencia por desgaste | 3               | 3  | 3  | 3  | 12                  |

*Nota:* en la tabla, se visualiza que el 0% es la base patrón de mezcla asfáltica en caliente sin añadir cal. Fuente: elaboración propia.

**4.3.2. Muestra**

Se trata de un subconjunto del universo donde se completará la exploración. La muestra es un fragmento delegado de la población. Según diversos estudios, la muestra es no probabilística intencional, elegida por conveniencia, que es un método común. Teniendo un total de 9 muestras. (Lopez, 2004, p.72)

**4.4. Instrumentos**

Incluye reunir y estimar datos de distintas fuentes para obtener un esquema del objeto de estudio. (Sánchez, 2022)

La recopilación de información que se utilizará será a través fichas o formatos establecidos por el MTC para la recopilación de datos esenciales. (MTC, 2016)

#### **4.5. Procedimientos**

Se utilizó la prueba ANOVA como análisis de variabilidad, para comparación de grupos en una variable. Nos sirve para el contraste de igualdad en las medias, para pruebas independientes. Se aplica para contrastar de tres o más variables independientes.

Se empleo la prueba de diferencia de Tukey para controlar la tasa de errores al realizar varios contrastes. (González, 2012)

#### **4.6. Análisis de datos**

Se uso el software IBM SPSS Statistics con el fin de recopilar, investigar e ilustrar la información. Un dispositivo permite análisis estadísticos avanzados, y se empleó la herramienta de recolección de datos a través de fichas de formato de laboratorio. (González, 2012)

#### **4.7. Consideraciones éticas**

Según el artículo 10 de la UTEA, expresa que los privilegios, la seguridad y el orgullo de quienes se dedican a la investigación deben ser salvaguardados y no apropiados por las normas morales de los lineamientos públicos. Considerando la coherencia con las directrices de innovación protegida. (UTEA, 2021)

## V. Resultados y discusión

### 5.1. Resultados

#### 5.1.1. Resistencia de deformación a la MAC usando el ensayo de Marshall

a. **Cemento asfáltico:** se usó el tipo PEN 60/70, se muestra los datos en el gráfico contiguo.

**Tabla 6**

*Especificaciones técnicas de cemento asfáltico*

| Ensayos   | Especificaciones |      | Método |             |
|---|------------------|------|--------|-------------|
|   | Min.             | Max  | ASTM   | AASHTO      |
| Penetración<br>A 25 °C, 100 g. 5 s, 0.1 mm                      | 60               | 70   | D-5    | T-49        |
| Volatilidad   |                  |      |        |             |
| Punto de inflamación Clevenland, copa abierta °C                | 232              |      | D-92   | T-48        |
| Gravedad especifica a 15.6/15.6°C                               | Reportar         |      | D-70   | T-228       |
| Ductilidad 25°C, 5 cm/min, cm                                   | 100              |      | D-113  | T-51        |
| Solubilidad en tricloroetileno, %masa                           | 99.0             |      | D-2042 | T-44        |
| Susceptibilidad térmica   |                  |      |        |             |
| Prueba de calentamiento en película fina 3.2 mm,163°C, 5 horas: |                  |      | D-1754 | T-179       |
| Pérdida por calentamiento, % masa                               |                  | 0.8  |        |             |
| Penetración retenida, % original                                | 52+              |      | D-5    | T-49        |
| Ductilidad 25°C, 5cm/min, cm                                    | 50               |      | D-113  | T-51        |
| Índice de susceptibilidad térmica                               | -1.0             | +1.0 |        | Francés RLB |
| Fluidez   |                  |      |        |             |
| Viscosidad cinemática 100°C                                     | Reportar         |      |        |             |
| Viscosidad cinemática 135°C                                     | 200              |      | D-2170 | T-201       |

*Nota:* en la tabla, se aprecia el min. y máx. del cemento asfáltico establecidos según las diferentes normas técnicas. Fuente: empresa Petroperú.

**b. Agregados:** se efectuó la elección de agregados gruesos y finos procedentes del centro de acopio Pedregal, posteriormente, se llevó a cabo los estudios de caracterización en laboratorio. Cabe indicar que los agregados deben cumplir los estándares propuestos por la MTC E-515. Los agregados proceden del centro de acopio Pedregal de la ciudad de Abancay y está triturado al 100 %.

### b.1. Agregado grueso

**Tabla 7**

*Datos del agregado grueso*

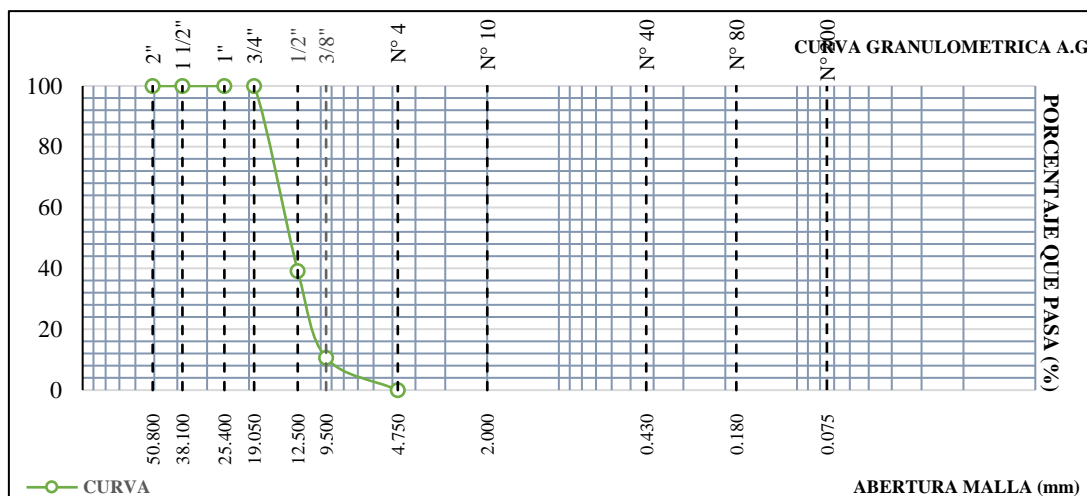
| Tamiz   |        | Pe. R<br>(gr) | Po. R. (%) | R A (%) | Po. que pasa<br>(%) |
|---------|--------|---------------|------------|---------|---------------------|
| ASTM    | mm     |               |            |         |                     |
| 3/4"    | 19.050 | 0.00          | 0.0        | 0.0     | 100.0               |
| 1/2"    | 12.500 | 1256.20       | 60.8       | 60.8    | 39.2                |
| 3/8"    | 9.500  | 589.80        | 28.5       | 89.3    | 11                  |
| N°4     | 4.750  | 221.10        | 10.7       | 100.0   | 0.0                 |
| N°10    | 2.000  | 0.00          | 0.0        | 0.0     | 0.0                 |
| N°40    | 0.430  | 0.00          | 0.0        | 0.0     | 0.0                 |
| N°80    | 0.180  | 0.00          | 0.0        | 0.0     | 0.0                 |
| N°200   | 0.075  | 0.00          | 0.0        | 0.0     | 0.0                 |
| < N°200 | 0.000  | 0.00          | 0.0        | 100.0   | 0.0                 |
| TOTAL   |        | 2067.10       | 100.00     |         |                     |

*Nota:* la tabla, presenta los resultados de laboratorio correspondientes al agregado grueso.

Fuente: tomada de laboratorio Conchipa.

**Figura 1**

Curva granulométrica del agregado grueso



Nota: la figura, presenta la curva granulométrica obtenida del análisis del agregado grueso.

Tomada de laboratorio Conchipa.

**Tabla 8**

Rango de aceptación del agregado grueso según la norma MTC

| Ensayo                            | Norma     | Requerimientos | Resultado del agregado grueso | Cumplimiento |
|-----------------------------------|-----------|----------------|-------------------------------|--------------|
| Durabilidad (sulfato de magnesio) | MTC E 209 | 18% máx.       | 10.94                         | Si           |
| Abrasión de los ángulos           | MTC E 207 | 40% máx.       | 19.85                         | Si           |
| Adherencia                        | MTC E 517 | +95            | +96                           | Si           |
| Índice de durabilidad             | MTC E 214 | 35% min.       |                               |              |
| Partículas chatas y alargadas     | MTC E 211 | 10% máx.       | 1.2                           | Si           |
| Caras fracturadas                 | MTC E 210 | 85/50          | 100/100                       | Si           |
| Sales solubles totales            | MTC E 219 | 0.5% máx.      |                               |              |
| Absorción                         | MTC E 206 | 1.0% máx.      | 0.37                          | Si           |

Nota: en la tabla, se observa el cumplimiento de los ensayos de granulometría del agregado, conforme a las diferentes normas técnicas. Fuente: tomada de laboratorio Conchipa.

## b.2. Agregado fino

**Tabla 9**

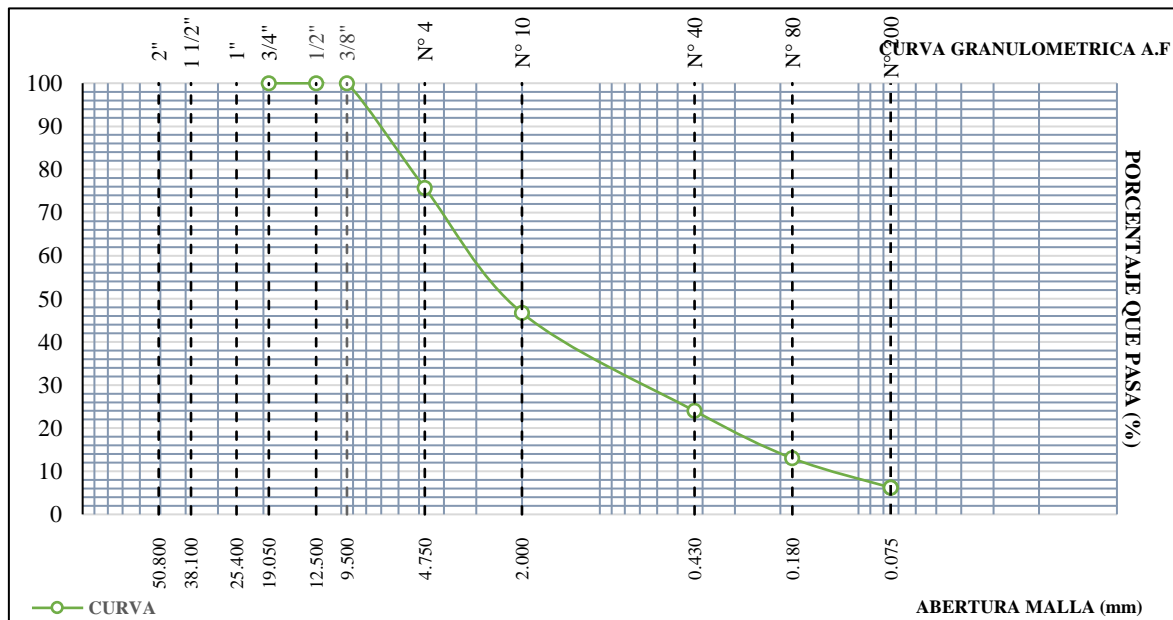
*Datos el agregado fino*

| Tamiz   |       | Peso retenido (gr) | Porcentaje retenido (%) | Retenido acumulado (%) | Porcentaje que pasa (%) |
|---------|-------|--------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| ASTM    | mm    |                    |                         |                        |                         |
| 3/8"    | 9.500 | 0.00               | 0.0                     | 0.0                    | 100.0                   |
| N°4     | 4.750 | 431.60             | 24.3                    | 24.3                   | 75.74                   |
| N°10    | 2.000 | 515.90             | 29.0                    | 53.3                   | 46.75                   |
| N°40    | 0.430 | 404.70             | 22.7                    | 76.0                   | 24.00                   |
| N°80    | 0.180 | 195.50             | 11.0                    | 87.0                   | 13.02                   |
| N°200   | 0.075 | 120.80             | 6.8                     | 93.8                   | 6.23                    |
| < N°200 | 0.000 | 110.80             | 6.2                     | 100.0                  |                         |
| TOTAL   |       | 1779.30            | 100.00                  |                        |                         |

*Nota:* en la tabla, se tiene los resultados granulométricos del agregado fino obtenidos en las diferentes mallas o tamices. Fuente: tomada de lab. Conchipa.

**Figura 2**

*Curva granulométrica del agregado fino*



*Nota:* en la figura, se muestra la curva granulométrica del agregado fino. Tomada de lab. Conchipa.

**Tabla 10**

*Rango de aceptación del agregado fino según la norma MTC*

| Ensayo                               | Norma     | Requerimientos | Resultado del agregado grueso | Cumplimiento |
|--------------------------------------|-----------|----------------|-------------------------------|--------------|
| Equivalente de arena                 | MTC E 114 | 60% min.       | 61                            | Si           |
| Angularidad del agregado fino        | MTC E 114 | 30% min.       | 49.3                          | Si           |
| Índice de plasticidad (malla N°40)   | MTC E 114 | N.P.           | N.P.                          | Si           |
| Durabilidad (al sulfato de magnesio) | MTC E 114 | ---            | 3.6                           | Si           |
| Índice de durabilidad                | MTC E 114 | 35% min.       | ---                           | ---          |
| Índice de plasticidad (malla N°200)  | MTC E 114 | 4% max.        | N.P.                          | Si           |
| Sales solubles totales               | MTC E 114 | 0.5% max.      | ---                           | ---          |
| Absorción                            | MTC E 114 | 1.0% max.      | 0.35                          | Si           |

*Nota:* en la tabla, presenta los resultados de los ensayos realizados al agregado fino, conforme a los rangos de aceptación establecidos por la norma MTC. Fuente: tomada de lab. Conchipa

### **b.3. Combinación de componentes granulares**

Para su elaboración de la MAC, se utilizó la mezcla de agregados MAC-1 con asfalto PEN 60/70, dosificando de la siguiente manera:

**Tabla 11**

*Dosificación del agregado grueso y fino en porcentajes (Huso MAC -1)*

| Agregados de la cantera Pedregal | %       |
|----------------------------------|---------|
| Grava chancada <3/4" -1/2"       | 36.00%  |
| Arena chancada <3/8"             | 64.00%  |
| Total                            | 100.00% |

*Nota:* en la tabla, presenta la dosificación porcentual de los agregados grueso y fino provenientes de la cantera Pedregal, correspondiente al Huso MAC -1. Fuente: tomada de laboratorio Conchipa.

El contenido adecuado de cemento asfáltico según los parámetros del planteamiento de laboratorio es del 5 % con agregados de la cantera Pedregal. Los porcentajes de vacíos se encuentran establecidos según la norma.

La fusión de los agregados con el asfalto óptimo de planteamiento, se aprecia en la tabla 12 el resultado:

**Tabla 12**

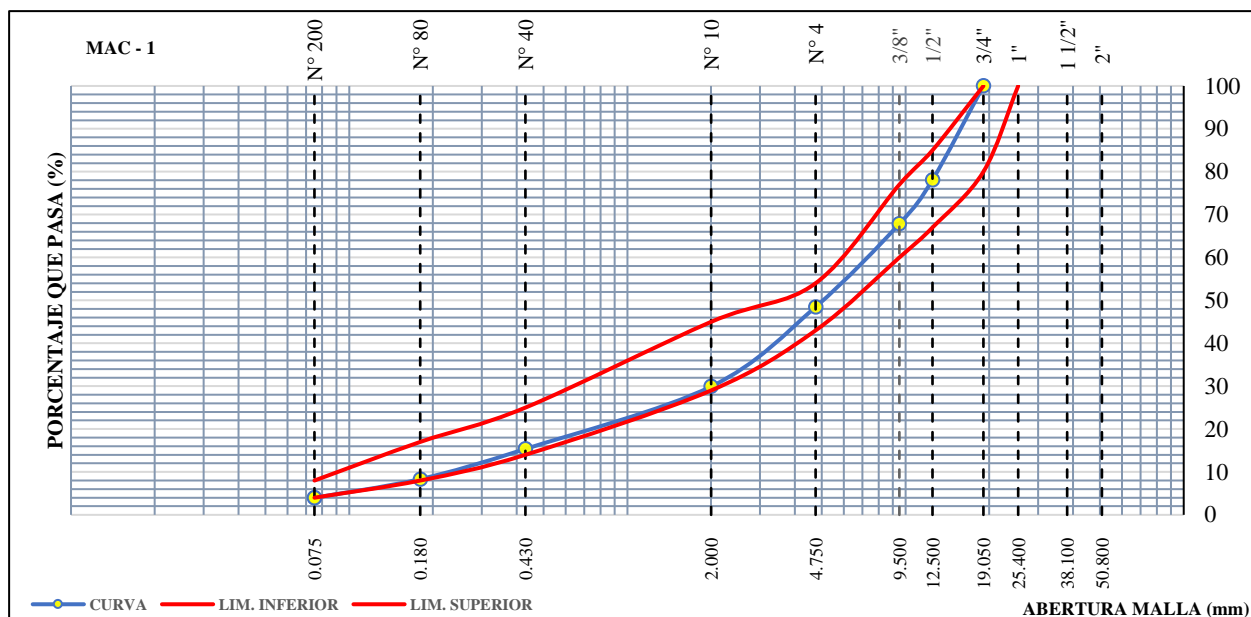
*Agregados y su combinación óptima según MAC-1*

| Tamiz | Grava<br>chancada<br><3/4"<br>36.00% | Arena<br>chancada<br><3/8"<br>64.00% | Mezcla MAC-1 |       |       | Resultado |
|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------|-------|-------|-----------|
|       | Cantera pedregal                     | Com.<br>Teórica                      | Huso MAC-1   |       |       |           |
| 1"    | 100.00                               | 100.00                               | 100.0        | 100.0 | 100.0 | bien      |
| 3/4"  | 100.00                               | 100.00                               | 100.0        | 80.0  | 100.0 | bien      |
| 1/2"  | 39.2                                 | 100.00                               | 78.1         | 67.0  | 85.0  | bien      |
| 3/8"  | 10.7                                 | 100.00                               | 67.9         | 60.0  | 77.0  | bien      |
| N°4   | 0.0                                  | 75.74                                | 48.5         | 43.0  | 54.0  | bien      |
| N°10  | 0.0                                  | 46.75                                | 29.9         | 29.0  | 45.0  | bien      |
| N°40  | 0.0                                  | 24.00                                | 15.4         | 14.0  | 25.0  | bien      |
| N°80  | 0.0                                  | 13.02                                | 8.3          | 8.0   | 17.0  | bien      |
| N°200 | 0.0                                  | 6.23                                 | 4.0          | 4.0   | 8.0   | bien      |

*Nota:* la tabla, presenta los resultados obtenidos de los agregados y su combinación óptima según el Huso MAC-1. Fuente: datos de lab. Conchipa.

**Figura 3**

*Granulometría de la mezcla de agregados*



Nota: la figura, muestra la curva granulométrica de la combinación de agregados. Tomada de lab. Conchipa.

La figura 3 muestra la curva granulométrica correspondiente a los distintos usos del diseño MAC-1, que cumple los parámetros establecidos.

### 5.1.2. Metodología de mezcla con asfalto según diseño - ensayo Marshall

El asfalto óptimo oscila en porcentajes de 4,0 %, 4,5 %, 5,0 %, 5,5 %, 6,0 %, 6,5 % y 7,0 %. Las probetas están hechas según el manual del (EG, 2013). Los datos emanados se contemplan en la siguiente tabla N.º 13.

**Tabla 13**

*Resultados del diseño Marshall – MAC-1*

| Parámetro     | Unid.   | Resultados |       |       |       |       |       |       |
|---------------|---------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PEN 60/70     | %       | 4.0        | 4.5   | 5.0   | 5.5   | 6.0   | 6.5   | 7.0   |
| Peso Unitario | gr/ c.c | 2.31       | 2.34  | 2.32  | 2.29  | 2.32  | 2.29  | 2.30  |
| Vacíos        | %       | 8.11       | 6.70  | 4.67  | 4.35  | 5.7   | 6.62  | 5.1   |
| V.M.A         | %       | 17.23      | 19.50 | 20.50 | 17.91 | 17.90 | 19.42 | 22.90 |
| V.F.A         | %       | 54.98      | 62.03 | 75.60 | 75.20 | 73.20 | 74.30 | 77.60 |
| Flujo         | Mm      | 3.1        | 3.25  | 3.95  | 4.3   | 4.17  | 4.31  | 4.7   |

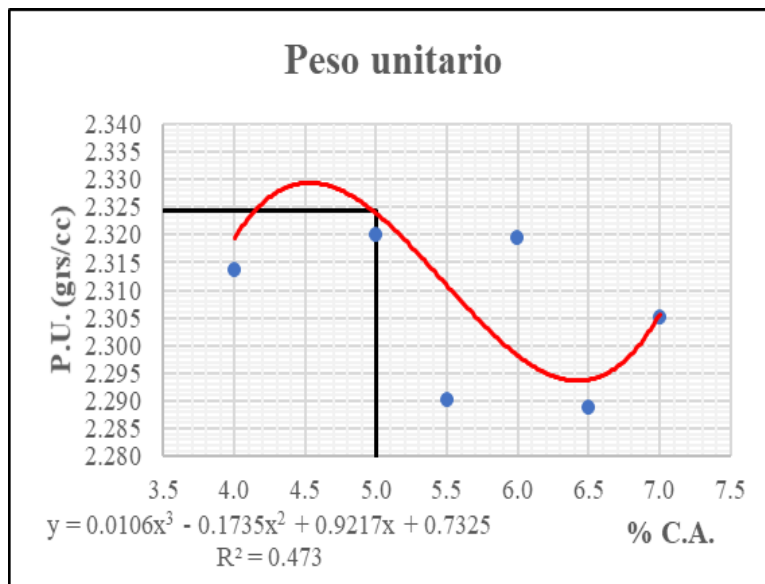
|                   |       |        |        |         |        |        |        |        |
|-------------------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Estabilidad       | kg    | 945.3  | 975.09 | 1528.32 | 1248.1 | 1301.8 | 1330.1 | 1222.2 |
| Índice de rigidez | kg/cm | 3127.4 | 3001.6 | 3873.0  | 2964.7 | 3129.0 | 3090.3 | 2641.7 |

*Nota:* la tabla, se presentan los resultados obtenidos del diseño Marshall correspondiente al Huso MAC-1. Fuente: tomada de lab. Conchipa.

La tabla describe los criterios del estudio Marshall, y muestran los valores de una mezcla asfáltica común según su estabilidad, flujo, peso unitario, índice de rigidez y VMA. Dichos valores se muestran en las figuras 4 a la 10.

#### Figura 4

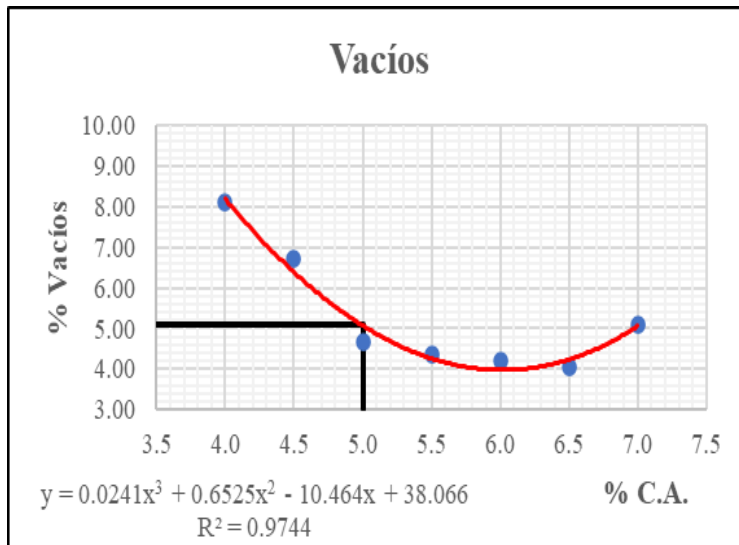
*%C. A respecto al peso unitario*



*Nota:* la figura, se observa el informe de laboratorio respecto al peso unitario – Diseño Marshall. Tomada de laboratorio Conchipa.

**Figura 5**

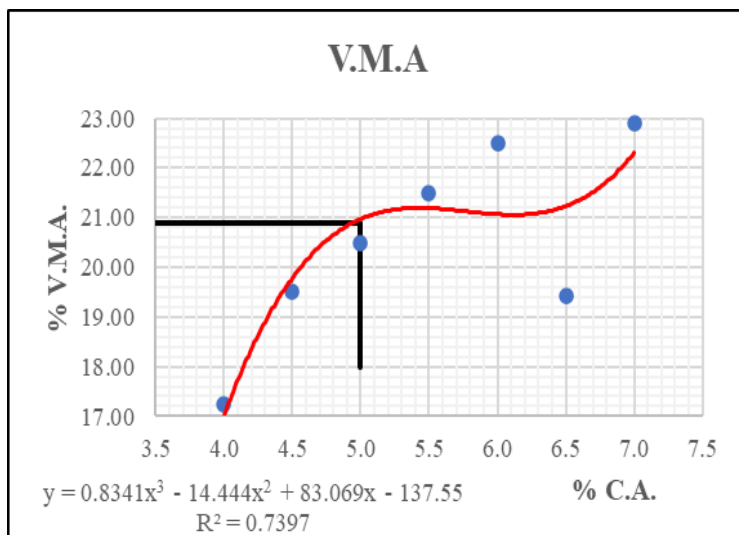
% vacíos respecto al % C.A



Nota: la figura, se observa el informe de laboratorio respecto al % de vacíos– Diseño Marshall. Tomada de laboratorio Conchipa.

**Figura 6**

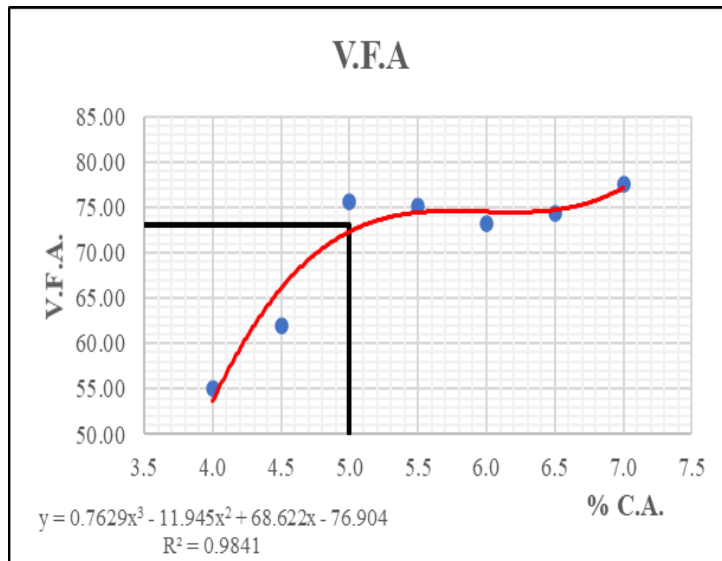
% V.M.A respecto al % C.A



Nota: en la figura, se observa el informe de laboratorio respecto al % V.M.A – Diseño Marshall. Tomada de laboratorio Conchipa.

**Figura 7**

% V.F.A respecto al % C.A

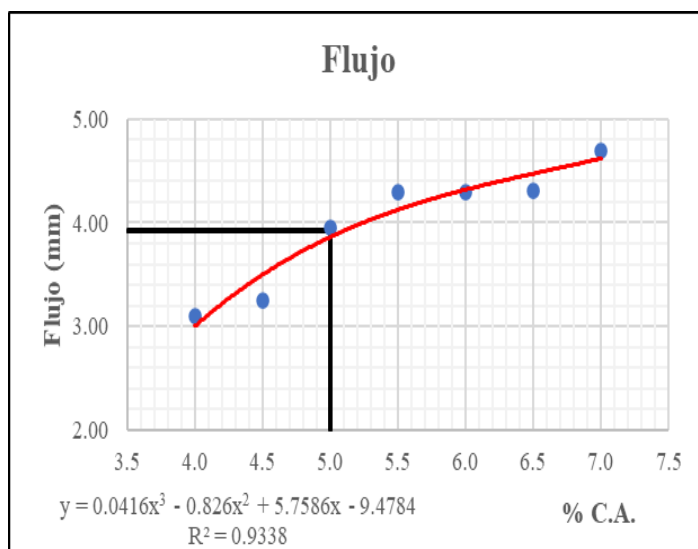


Nota: la figura, se aprecia el informe de laboratorio respecto al V.F.A – Diseño Marshall.

Tomada de laboratorio Conchipa.

**Figura 8**

% de flujo respecto al %V. A

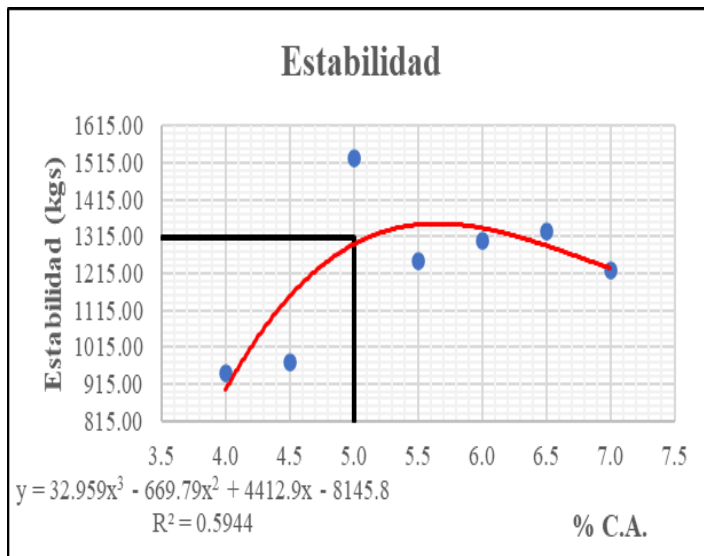


Nota: la figura, se aprecia el informe de laboratorio respecto al flujo – Diseño Marshall.

Tomada de laboratorio Conchipa.

**Figura 9**

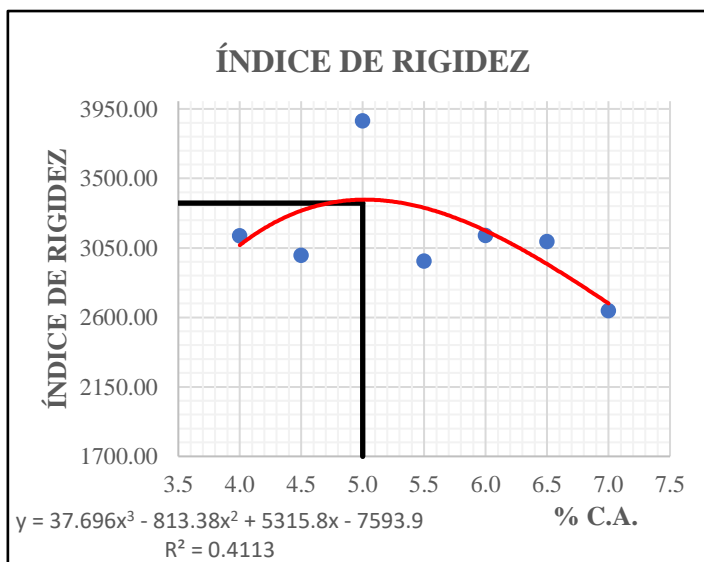
*% estabilidad respecto al % V.A*



*Nota:* la figura, se aprecia el informe de laboratorio respecto a la estabilidad– Diseño Marshall. Tomada de lab. Conchipa.

**Figura 10**

*% rigidez respecto al % V.A*



*Nota:* la figura, se aprecia el informe de laboratorio respecto al índice de rigidez– Diseño Marshall. Tomada de laboratorio Conchipa.

Para obtener la mezcla asfáltica adecuada, se trazan primero tangentes hacia las curvas polinómicas de 3° grado y se dibuja una recta tangente hasta el % C.A.

Los criterios obtenidos son la estabilidad, el flujo, el índice de rigidez, el % de vacíos, el V.M.A. y el V.F.A., los cuales están normados por el (EG, 2013) y se aprecian en la tabla N°14.

**Tabla 14**

*Diseño Marshall, según resultados de laboratorio y especificaciones*

| Descripción       | Und                | % C. A  | Especificaciones | Cumple |
|-------------------|--------------------|---------|------------------|--------|
| Golpe x cara      | Und                | 75      | 75               | Si     |
| Cemento asfáltico | %                  | 5       | optimo           | Si     |
| P.U               | gr/cm <sup>3</sup> | 2.322   |                  | Si     |
| Vacíos            | %                  | 4.67    | 3% - 5%          | Si     |
| V.M.A             | %                  | 20.50   | Min 14           | Si     |
| V.F.A             | %                  | 75.60   | -                | Si     |
| Flujo             | mm                 | 3.95    | 2 – 4            | Si     |
| Estabilidad       | Kg                 | 1528.32 | Min 815          | Si     |
| Estabilidad/flujo | Kg/cm              | 3873.00 | 1700 - 4000      | Si     |

*Nota:* la tabla, presenta el cumplimiento de los parámetros obtenidos en el diseño Marshall, de acuerdo con las especificaciones establecidas. Fuente: tomada de lab. Conchipa.

### **5.1.3. Procedimiento de diseño Marshall de una MAC con cal hidratada.**

Se empleará la norma del (MTC, E504, 2016), (EG, 2013), seguirá el procedimiento y criterios establecidos para establecer el porcentaje adecuado de cemento asfáltico.

**Figura 11**

*Incorporación de cal hidratada al diseño adecuado.*



*Nota:* la figura, muestra la preparación de la MAC. Tomada de laboratorio Conchipa.

Proceso de elaboración de especímenes de MAC convencionales agregando la cal hidratada seguirá el siguiente procedimiento de probetas según Marshall.

- I. Se establecen porcentajes de cal hidratada en medida al peso total y, posteriormente, se preparan los insumos según porcentaje de cemento asfáltico que va usar, que fue del 5 %.
- II. Se calienta una sartén con los agregados a una temperatura de 80 °C y, a continuación, se agrega la cal hidratada y se mezcla hasta obtener una adhesión mayor al 95 %.
- III. Se vierte el cemento asfáltico a la mezcla anteriormente mencionada obteniendo una adherencia completa de los insumos y la cal hidratada.
- IV. Posteriormente, se vierte la MAC en las briquetas a temperatura de 150 °C, se limpia con una espátula para evitar desperdicios y se compacta cada cara con 75 golpes.
- V. Cuando las muestras alcancen la temperatura ambiente, se extraen o desencofren de los moldes Marshall con la gata extractora y se codifican.

#### 5.1.4. Contenido ideal de cal hidratada vs el % de asfalto según Marshall

##### a. MAC con 1.0% de adición de cal hidratada según diseño Marshall.

La MAC agregando cal hidratada al 1.0%, se realizaron testigos con un %C. A del 5.0% a temperaturas de 150°C y compactadas a 75 golpes por lado con el mazo Marshall, los resultados se estiman en la tabla 15.

**Tabla 15**

*Resultados de la MAC con adición de cal hidratada al 1%*

| Cal hidratada al 1% - Diseño Marshall |         |        |        |        |                      |        |        |
|---------------------------------------|---------|--------|--------|--------|----------------------|--------|--------|
| Propiedades                           | MAC - 1 | M - 1  | M - 2  | M - 3  | Resul.<br>promediado | Und    | Cumple |
| C.A                                   |         | 5      | 5      | 5      | 5.0                  | %      | Si     |
| Compactación                          |         | 75     | 75     | 75     | 75                   | Golpes | Si     |
| Flujo                                 |         | 3.2    | 3.3    | 3.4    | 3.3                  | mm     | Si     |
| Estabilidad s/corregir                |         | 1225.5 | 1312.1 | 1220.6 | -                    | Kg     | Si     |
| Factor de estabilidad                 | +/-     | 1.09   | 1.09   | 1.04   | -                    | K      | -      |
| Estabilidad corregida                 | 1%      | 1335.8 | 1430.2 | 1269.4 | 1233.5               | Kg     | Si     |
| Índice de rigidez                     |         | 4208.0 | 4399.0 | 3787.0 | 4131.33              | Kg/cm  | No     |

*Nota:* la tabla, presenta las propiedades obtenidas en el diseño Marshall de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) con la adición del 1% de cal hidratada. Fuente: tomada de laboratorio Conchipa.

**Figura 12**

*Extracción de especímenes de MAC.*



*Nota:* la figura, muestra especímenes con incorporación de cal hidratada al 0%, 1%, 2% y 3%. Tomada de laboratorio Conchipa.

Según los datos consignados, se observa que al añadir cal hidrata al 1%, la relación estabilidad/flujo se encuentra fuera del criterio establecido por la norma (EG, 2013), respecto al flujo, esta si se encuentra dentro de los criterios establecidos por dicha norma, ya que los resultados nos arrojan 3.3mm.

**b. MAC con incorporación de cal hidratada al 2% según diseño Marshall**

La MAC agregando cal hidratada al 2.0%, se realizaron testigos con un %C. A del 5.0% a temperaturas de 150°C y compactadas a 75 golpes por lado con el martillo, los resultados se estiman en la tabla 16.

**Tabla 16**

*Resultados de la MAC con adición de cal hidratada al 2%*

| Cal hidratada al 2% - Diseño Marshall |      |       |       |       |                      |     |        |
|---------------------------------------|------|-------|-------|-------|----------------------|-----|--------|
| Propiedades                           | MA   | M - 1 | M - 2 | M - 3 | Resul.<br>promediado | Und | Cumple |
|                                       | C- 1 |       |       |       |                      |     |        |

|                        |     |        |        |        |         |        |    |
|------------------------|-----|--------|--------|--------|---------|--------|----|
| C.A                    |     | 5      | 5      | 5      | 5.0     | %      | Si |
| Compactación           |     | 75     | 75     | 75     | 75      | Golpes | Si |
| Flujo                  | +/- | 3.1    | 4.5    | 4.2    | 4.0no   | mm     | Si |
| Estabilidad s/corregir | 2%  | 1117.2 | 1110.3 | 1115.9 | 1233.5  | Kg     | Si |
| Factor de estabilidad  |     | 1.19   | 1.09   | 1.04   | -       | K      | -  |
| Estabilidad corregida  |     | 1329.5 | 1210.2 | 1160.5 | -       | Kg     | Si |
| Índice de rigidez      |     | 4222.0 | 2690.0 | 2764.0 | 3225.33 | Kg/cm  | Si |

*Nota:* la tabla, detalla las características de la MAC, adicionando 2% de cal hidratada.

Fuente: tomada de laboratorio Conchipa.

### Figura 13

*Se realiza la rotura de especímenes con la maquina Marshall*



*Nota:* la figura, se aprecia la rotura de las muestras utilizando el equipo Marshall. Tomada de laboratorio Conchipa.

Según los datos logrados del diseño Marshall, se aprecia que el índice de rigidez y la estabilidad están en los límites sugeridos por la normativa (EG, 2013). Respecto al flujo, los valores deben estar entre los rangos de 2-4mm, por lo que, al observar los resultados de laboratorio, se obtiene un valor de 4.0mm, el cual se encuentra dentro del límite superior según la norma. Por tanto, el agregar cal hidratada al 2% actúa en la MAC.

### c. MAC con incorporación de cal hidratada al 3% según diseño Marshall

la MAC agregando cal hidratada al 3.0%, se realizaron testigos con un %C. A del 5.0% a temperaturas de 150°C y compactadas a 75 golpes por lado con el martillo Marshall, los datos se detallan en la tabla 17.

**Tabla 17**

*Resultados de la MAC con adición de cal hidratada al 3%*

| Cal hidratada al 3% - Diseño Marshall |            |        |        |        |                      |        |        |
|---------------------------------------|------------|--------|--------|--------|----------------------|--------|--------|
| Propiedades                           | MAC<br>- 1 | M - 1  | M - 2  | M - 3  | Resul.<br>promediado | Und    | Cumple |
| C.A                                   |            | 5      | 5      | 5      | 5.0                  | %      | Si     |
| Compactación                          |            | 75     | 75     | 75     | 75                   | Golpes | Si     |
| Flujo                                 |            | 5.2    | 5.1    | 5.0    | 5.09                 | mm     | No     |
| Estabilidad s/corregir                |            | 1547.9 | 1579.5 | 1563.7 | -                    | Kg     | Si     |
| Factor de estabilidad                 | +/-        | 1.09   | 1.09   | 1.09   | -                    | K      | -      |
| Estabilidad corregida                 | 3%         | 1687.2 | 1721.7 | 1704.4 | 1704.46              | Kg     | Si     |
| Índice de rigidez                     |            | 3241.0 | 3373.0 | 3442.0 | 3352.00              | Kg/cm  | Si     |

*Nota:* la tabla, presenta las propiedades obtenidas en el diseño Marshall de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) con la adición del 3% de cal hidratada. Fuente: tomada de laboratorio Conchipa.

Al agregar cal hidratada al 3% dio como resultado una estabilidad y índice de rigidez dentro del límite de la norma (EG, 2013), por otro lado, el resultado del flujo, que es de 5.09 mm, se halla fuera de los límites de 2-4mm.

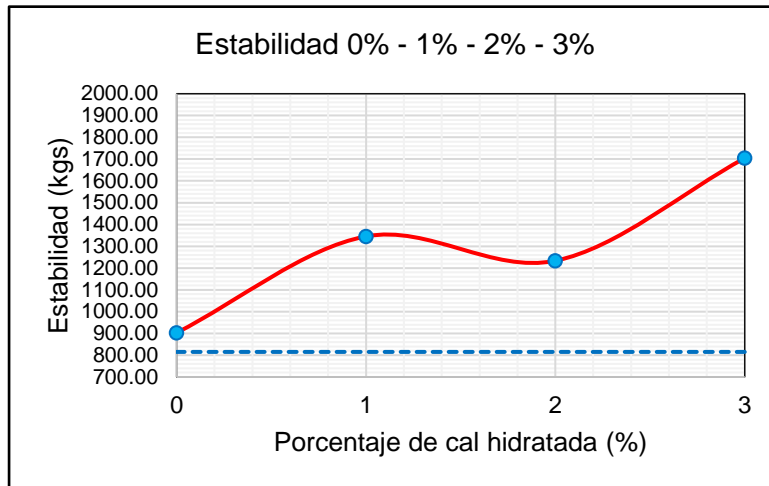
#### 5.1.5. Resultados obtenidos de Marshall

Se muestran los datos alcanzados de la MAC convencional versus la MAC con cal hidratada, para lo cual se analiza los parámetros de índice de rigidez, estabilidad, flujo en función a la cal hidratada.

##### a. Estabilidad

**Figura 14**

*% de cal hidratada respecto a la variación de la estabilidad*



*Nota:* la figura, se aprecia la estabilidad con adición de cal hidratada al 0%,1%,2% y 3%.

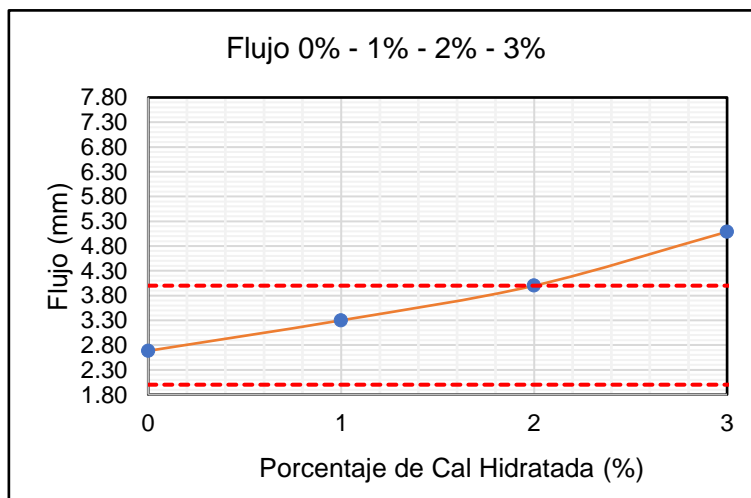
Tomada de laboratorio Conchipa.

En la figura 14 se observa un incremento superior al límite inferior de acuerdo con la norma (EG, 2013) del ensayo de Marshall. Cabe señalar que la estabilidad de la MAC convencional es baja en comparación con la MAC con cal hidratada en sus diferentes porcentajes.

### **b. Flujo**

**Figura 15**

*% de cal hidratada respecto al cambio del flujo*



*Nota:* la figura, se aprecia el flujo con incorporación de cal hidratada al 0%,1%,2% y 3%.

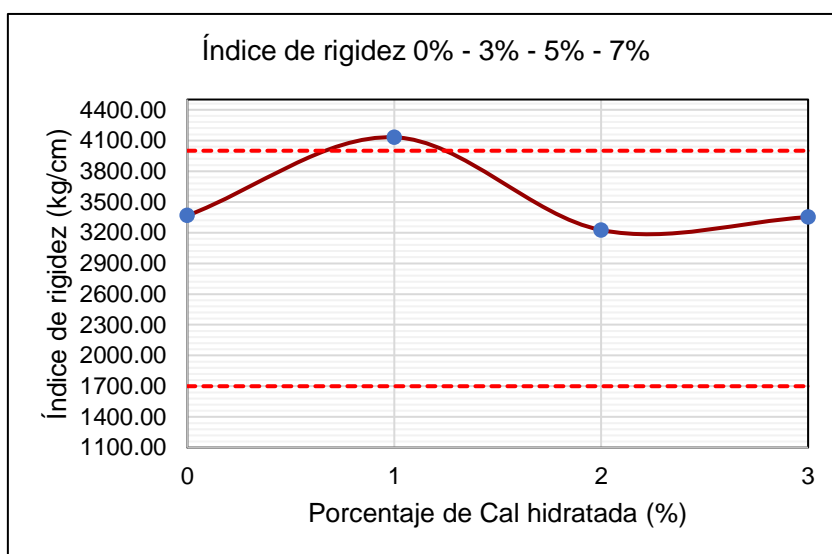
Tomada de laboratorio Conchipa.

En la figura 15 se aprecia que presenta un aumento al adicionar cal hidratada al 3 %, por lo que estaría fuera de los criterios requeridos según la norma (EG, 2013). Del mismo modo, se observa que al adicionar cal al 1 % y 2 %, se hallan dentro de los criterios determinados por la norma anteriormente indicada.

### c. Índice de rigidez

**Figura 16**

*% de cal hidratada con respecto al cambio del índice de rigidez*



*Nota:* la figura, muestra el índice de rigidez con incorporación de cal hidratada al 0%,1%,2% y 3%. Tomada de laboratorio Conchipa.

En la figura 16 se ve un incremento respecto al límite superior al añadir cal hidratada al 1 %, mientras que al añadir cal hidratada en porcentajes del 2 % y 3 %, se observa que se hallan dentro de los valores determinados por la normativa (EG, 2013).

**Tabla 18**

*Resumen de datos obtenidos de la MAC incorporada con cal hidratada.*

| Ensayo Marshall con incorporación de cal hidratada al 0%,1%,2%,3% |        |        |        |         |           |
|---|--------|--------|--------|---------|-----------|
| Contenido adecuado de cemento asfáltico (PEN 60/70), 5%           |        |        |        |         |           |
| %   | 0%     | 1%     | 2%     | 3%      | Condición |
| Estabilidad   | 902.87 | 1345.2 | 1233.5 | 1704.46 | Min 815kg |

|                   |         |         |         |        |                     |
|-------------------|---------|---------|---------|--------|---------------------|
| Flujo             | 2.68    | 3.3     | 4.0     | 5.09   | 2 – 4mm             |
| Índice de rigidez | 3366.33 | 4131.33 | 3225.33 | 3352.0 | 1700 –<br>4000kg/cm |

*Nota:* la tabla, muestra los resultados del ensayo Marshall adicionando cal hidratada al 0 %, 1 %, 2 % y 3 %. Fuente: tomada de laboratorio Conchipa.

### 5.1.6. Resistencia a la compresión diametral mediante el ensayo TSR

El estudio se llevará a cabo siguiendo la normativa (NLT-346/90, 1190). Consiste en preparar especímenes con cal hidratada al 0 %, 1 %, 2 % y 3 % con temperaturas de 150 °C +/- 5 °C. Posteriormente, con el pie de rey se dimensiona el diámetro y la altura de especímenes y se calculan los pesos con una precisión de más o menos 0,2 g.

A continuación, se coloca el cabezal Lotman en la maquina Marshall para realizar la prueba de resistencia. Los datos alcanzados del TSR se aprecia en la siguiente tabla.

**Tabla 19**

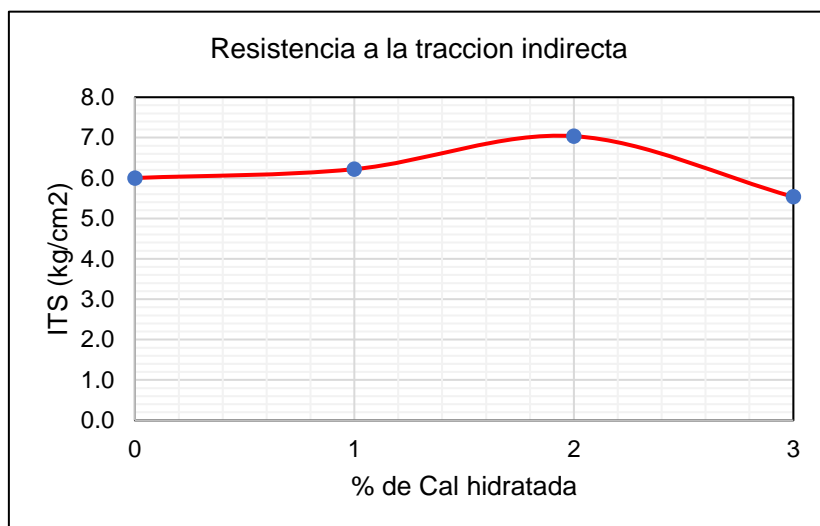
*Datos de la Resistencia a la compresión diametral (TSR)*

| Mezcla asfáltica          | T° digestión<br>(°C) | T°<br>cronometrado<br>(hr) | Resistencia a compresión diametral |        |           |
|---------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------------|--------|-----------|
|                           |                      |                            | Mpa                                | Kg/cm2 | Variación |
| MAC- tradicional          | 0                    | 0                          | 6.0                                | 61.18  | 0.0%      |
| MAC + 1% cal hidratada    | 60                   | 2                          | 6.2                                | 63.22  | 3.66%     |
| MAC + 2% de cal hidratada | 60                   | 2                          | 7.0                                | 71.38  | 17.33%    |
| MAC +3% de cal hidratada  | 60                   | 2                          | 5.5                                | 56.08  | -7.83%    |

*Nota:* la tabla, se presentan los resultados de la resistencia a la compresión diametral (TSR) obtenidos para las mezclas asfálticas tradicionales y modificadas con diferentes porcentajes de cal hidratada. Fuente: tomada de laboratorio Conchipa.

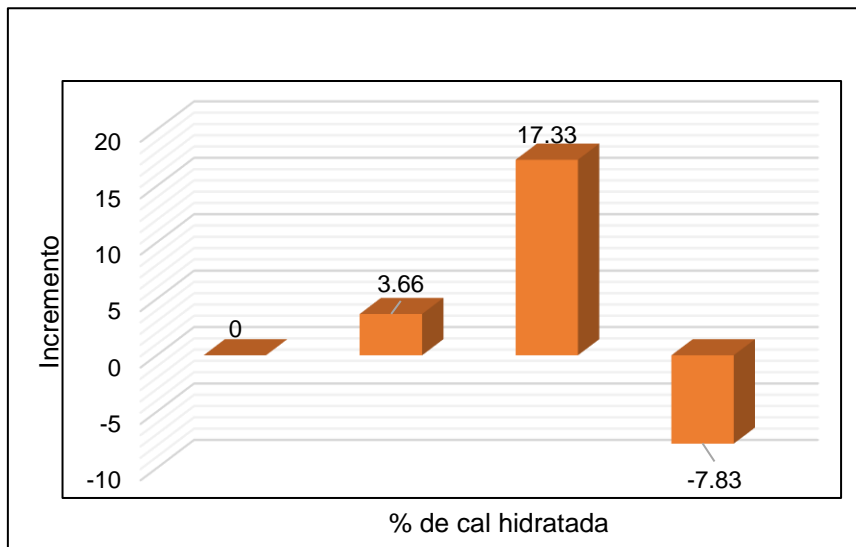
**Figura 17***Ensayo de TSR*

*Nota:* la figura, muestra la prueba de TSR. Tomada del laboratorio Conchipa.

**Figura 18***% cal hidratada vs ITS*

*Nota:* La figura, muestra el % de cal hidratada vs ITS. Fuente: tomada de laboratorio Conchipa.

En la figura 18 se observa que, al añadir cal hidratada al 1 %, aumenta ligeramente un 3,66 %, mientras que al incorporar cal hidratada al 3 % disminuye un 7,83 %. Al añadir cal hidratada al 2 %, se observa que aumenta un 17,33 %, superando al MAC tradicional.

**Figura 19***TSR mediante su variabilidad*

*Nota:* la figura, muestra el incremento generado por la cal hidratada. Tomada de laboratorio Conchipa.

#### **5.1.7. Ensayo de cántabro – procedimiento**

Para el presente ensayo, se seguirá el proceso definido en el manual del (MTC, E 515, 2016), el cual especifica todo el proceso de ensayo de desgaste por pérdida de una MAC. Los ejemplares se hallan a una temperatura ambiente de 26 °C y se pesan para obtener el peso inicial (P1). Posteriormente se colocan dentro de la máquina de los ángeles sin esferas, se programa con revoluciones de 30- 33 rpm según la norma (MTC, E 515, 2016). A continuación, se extrae y se pesan para poder obtener el valor de P2. La tabla N°20 detalla los resultados alcanzados en laboratorio.

**Tabla 20***Resultados de ensayo cántabro*

| Mezcla asfáltica         | T° (°C) | % de cal hidratada añadida | % Desgaste |
|--------------------------|---------|----------------------------|------------|
| MAC- tradicional         | 25°C    | 0.0%                       | -2.20%     |
| MAC + 1.0% cal hidratada | 25°C    | 1.0%                       | -2.66%     |
| MAC + 2.0% cal hidratada | 25°C    | 2.0%                       | -1.56%     |
| MAC + 3.0% cal hidratada | 25°C    | 3.0%                       | -2.15%     |

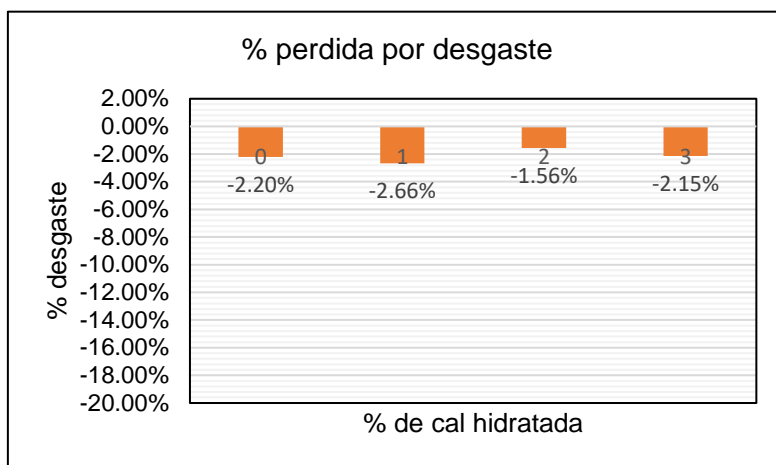
*Nota:* la tabla, se presentan los resultados obtenidos del ensayo Cántabro, realizado para evaluar la resistencia al desgaste de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de cal hidratada. Fuente: tomada de lab. Conchipa.

**Figura 20***Procedimiento del ensayo de cántabro*

*Nota:* la figura, detalla el proceso de la prueba de cántabro. Tomada de laboratorio Conchipa.

**Figura 21**

*Perdida por desgaste de las MAC respecto prueba Cántabro*

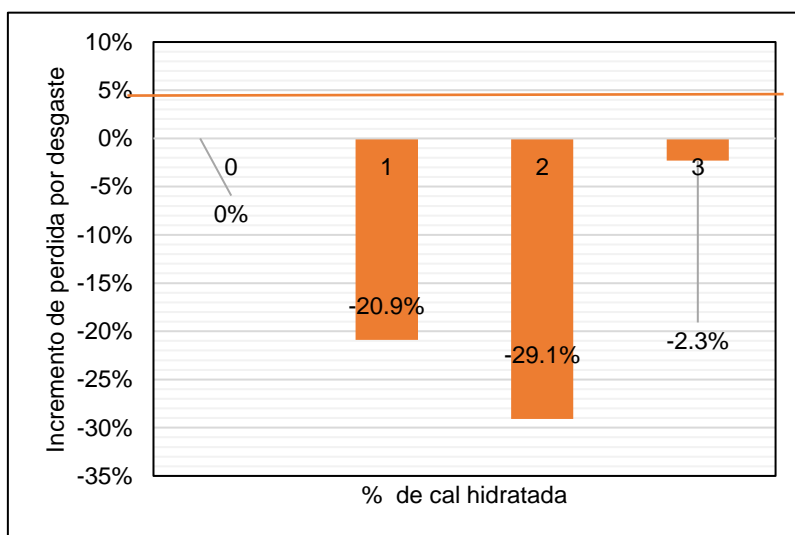


*Nota:* la figura, detalla los datos de perdida por desgaste de las MAC, mediante la prueba cántabro. Fuente: tomada del laboratorio Conchipa.

Tal como se observa en la figura 21, al añadir cal hidratada al 2 % y 3 %, se obtuvo un menor desgaste en comparación con la MAC tradicional.

**Figura 22**

*Variabilidad de la MAC convencional respecto al % de desgaste*



*Nota:* la figura, detalla la variabilidad de MAC convencional respecto al % de desgaste.

Fuente: tomada de laboratorio Conchipa.

La figura 22 muestra que, a mayor proporción de cal hidratada, menor es el desgaste relación a la MAC tradicional.

## **5.2. Discusión de resultados**

### **5.2.1. Discusión de resultado del objetivo general**

Se tiene como resultado que, al añadir cal hidratada al 2 %, mejora las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente. Cabe indicar que esta también se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

### **5.2.2. Discusión de resultado del objetivo específico 1**

La incorporación del 2% de cal hidratada a la MAC mejora su comportamiento de estabilidad y flujo, referido a la MAC común. Cabe destacar que, cuando se añadió un 2% de cal hidratada a la MAC dio un valor de 3225.33 kg/cm, situándose dentro de los términos exigidos por la normativa (EG, 2013), que son de 1700-4000 kg/cm. La mezcla asfáltica común dio como resultado 3366 kg/cm, este valor se acerca más al límite superior. El porcentaje del 1% es de 4131.33 kg/cm, tal valor se encuentra fuera de términos requeridos por la norma. Por último, el porcentaje del 3 % es de 3352,00 kg/cm y está dentro de los límites.

(Chalco & Muñoz, 2021). Estos autores obtuvieron como resultado que, al incorporar cal hidratada al 2,85 % y al 5,00 % de asfalto, la mezcla asfáltica presenta un índice de rigidez de 3981,26 kg/cm, mientras que, al incorporar un 2,84 % de cal hidratada y un 5,5 % de asfalto, esta nos da resultados del índice de rigidez de 2882,43, por lo que está dentro de los términos determinados por la norma.

Al comparar ambos estudios, se demuestra que al adicionar cal hidratada al 2 % esta mejora su procedimiento en términos de estabilidad y flujo, ajustándose a criterios exigidos por la normativa.

### **5.2.3. Discusión de resultado del objetivo específico 2**

Los datos adquiridos de la prueba TSR en el MAC tradicional fueron del 90.8%, al agregar cal hidratada al 2% dio un valor de 96.4%, llegando a superar a la mezcla asfáltica tradicional. Al agregar porcentajes del 1% y 3% de cal hidratada, se obtuvieron resultados de 78,8% y 85,6%, los cuales son menores incluso de la MAC tradicional.

(Chalco & Muñoz, 2021). Estos autores obtuvieron como resultado que al incorporar cal hidratada al 2,65 %, la mezcla asfáltica presenta una elevada resistencia a los deterioros por humedad. En comparación con los demás materiales de relleno ensayados en este estudio, la cal alcanzó un importe de TSR del 101,04 %, lo que la convierte en el relleno con mayor resistencia.

Al comparar ambos estudios, se observa que al incorporar un 2 % y un 2,65 % de cal hidratada se obtienen mejores resultados en cuanto al TSR, pero, del mismo modo, al incorporar una cantidad mayor esta disminuye.

#### **5.2.4. *Discusión de resultado del objetivo específico 3***

Los datos emanados en este estudio revelan que el porcentaje de desgaste de la MAC tradicional fue 2,20 %, mientras que el de la MAC con incorporación de cal hidratada en proporciones del 1 %, 2 % y 3 % fue de 2,60 %, 1,55 % y 2,15 %, respectivamente. Por lo tanto, se determina que, a mayores cantidades de cal hidratada, menor desgaste en comparación con la MAC tradicional.

(Santa Cruz, 2021), obtuvo como resultado que, a medida que aumenta el contenido de material reciclado, el espécimen muestra un mayor deterioro por abrasión, de un 6,69 % para la mezcla tradicional y un 10,44 % para mezcla con adición de cal al 1 %.

Por lo tanto, al comparar los datos de ambas investigaciones, se logra apreciar que al adicionar cal hidratada al 1 % no existe similitud alguna, ya que en ambas investigaciones los porcentajes de desgaste varían, por lo cual se determina que al añadir cal al 2% la MAC tiene menor desgaste.

#### **5.3. Prueba de hipótesis general**

Se contrasta la hipótesis general y las específicas, mediante el análisis de variabilidad ANOVA.

La cal hidratada al 1%, 2%, 3% influye en la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay, Apurímac – 2024.

## 5.4. Hipótesis específicas

### 5.4.1. Hipótesis específica 1

La cal hidratada al 1%, 2%, 3% influye en la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo Marshall.

Se tiene tres muestras con porcentajes diferentes, la contrastación de la MAC modificada será mediante su flujo y estabilidad.

Los valores de estabilidad de la MAC sin modificar son de 902.87 kg, con cal hidratada del 1% es de 1345.20 kg, con cal hidratada del 2% es de 1233.50 kg y con cal hidratada del 3% es de 1704.46 kg. Los valores del flujo de la MAC sin modificar son de 2.68 mm, con cal hidratada del 1% es de 3.30 mm, con cal hidratada del 2% es de 4.00 mm y con cal hidratada del 3% es de 5.09 mm.

#### ➤ Hipótesis H0 y H1:

**H0:** la incorporación de 1%, 2% y 3% de cal hidratada no influye significativamente entre las medias de estabilidad y flujo, referente a la mezcla asfáltica común.

**H1:** la incorporación de 1%, 2% y 3% de cal hidratada si influye significativamente entre las medias de estabilidad y flujo, referente a la mezcla asfáltica común.

#### a. Resultado descriptivo de estabilidad

**Tabla 21**

*Resultados de estabilidad con cal hidratada al 1%,2% y 3%*

| Datos de estabilidad (kg) |                    |                    |                    |
|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Cal hidratada - 0%        | Cal hidratada - 1% | Cal hidratada - 2% | Cal hidratada - 3% |
| P1- 901.10                | P4- 1335.80        | P7- 1329.50        | P10- 1687.20       |
| P2- 905.60                | P5- 1430.20        | P8- 1210.20        | P11- 1721.70       |
| P3- 901.90                | P6- 1269.40        | P9- 1160.50        | P12- 1704.40       |

*Nota:* la tabla, detalla los valores de estabilidad obtenidos para las mezclas asfálticas con distintos porcentajes de cal hidratada. Fuente: tomada del laboratorio Conchipa.

**Tabla 22***Datos estadístico descriptivos de estabilidad*

| Cal hidratada | N | Media     | Desviación estándar | Coeficiente de variación | 95% del intervalo de confianza para la media |                 |
|---------------|---|-----------|---------------------|--------------------------|--|-----------------|
|               |   |           |                     |                          | Límite inferior                              | Límite superior |
| 0%            | 3 | 902.8667  | 2.40069             | 0.3%                     | 896.9030                                     | 908.8303        |
| 1%            | 3 | 1345.1333 | 80.80528            | 6.0%                     | 1144.4019                                    | 1545.8648       |
| 2%            | 3 | 1233.4000 | 86.85580            | 7.0%                     | 1017.6382                                    | 1449.1618       |
| 3%            | 3 | 1704.4333 | 17.25002            | 1.0%                     | 1661.5819                                    | 1747.2848       |

*Nota:* la tabla, detalla los resultados estadísticos descriptivos de la estabilidad para las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de cal hidratada. Fuente: tomada del IBM SPSS.

#### **b. Análisis de varianza de estabilidad**

**Tabla 23***Se muestra el análisis de varianza de estabilidad con la cal hidratada*

| Cal hidratada    | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F      | P      | F crítico |
|------------------|-------------------|----|------------------|--------|--------|-----------|
| Entre grupos     | 983110.829        | 3  | 327703.610       | 91.176 | 1.E-06 | 4.07      |
| Dentro de grupos | 28753.500         | 8  | 3594.188         |        |        |           |
| Total            | 1011864.329       | 11 |                  |        |        |           |

*Nota:* la tabla, detalla los datos de Anova respecto a su estabilidad. Fuente: tomada de IBM SPSS.

Se afirma con un 95 % de certeza que la  $F >$  que  $F$  crítico, por lo que se descarta  $H_0$ . Se emplea el método Tukey para una mejor verificación.

**Tabla 24***Método Tukey – diferencias de medias según su estabilidad*

| Comparación múltiple Tukey |                      |             |   |                               |                 |
|----------------------------|----------------------|-------------|---|-------------------------------|-----------------|
| Cal hidratada              | Diferencia de medias | Desv. Error | P | Intervalo de confianza al 95% |                 |
|                            |                      |             |   | Límite inferior               | Límite superior |

|    |    |            |          |          |           |           |
|----|----|------------|----------|----------|-----------|-----------|
|    | 1% | -442,26667 | 48.95023 | 0.000084 | -599.0225 | -285.5108 |
| 0% | 2% | -330,53333 | 48.95023 | 0.000658 | -487.2892 | -173.7775 |
|    | 3% | -801,56667 | 48.95023 | 0.000001 | -958.3225 | -644.8108 |
|    | 0% | 442,26667  | 48.95023 | 0.000084 | 285.5108  | 599.0225  |
| 1% | 2% | 111.73333  | 48.95023 | 0.181346 | -45.0225  | 268.4892  |
|    | 3% | -359,30000 | 48.95023 | 0.000370 | -516.0559 | -202.5441 |
|    | 0% | 330,53333  | 48.95023 | 0.000658 | 173.7775  | 487.2892  |
| 2% | 1% | -111.73333 | 48.95023 | 0.181346 | -268.4892 | 45.0225   |
|    | 3% | -471,03333 | 48.95023 | 0.000053 | -627.7892 | -314.2775 |
|    | 0% | 801,56667  | 48.95023 | 0.000001 | 644.8108  | 958.3225  |
| 3% | 1% | 359,30000  | 48.95023 | 0.000370 | 202.5441  | 516.0559  |
|    | 2% | 471,03333  | 48.95023 | 0.000053 | 314.2775  | 627.7892  |

*Nota:* la tabla, detalla el método Tukey respecto a su estabilidad. Fuente: tomada de IBM SPSS.

La tabla 24, se aprecia que  $P < 0.05$ , por lo cual se descarta la  $H_0$  en estabilidad.

### c. Resultado descriptivo de flujo

**Tabla 25**

*Datos del flujo con porcentaje de cal hidratada*

| Datos de flujo (mm) |                    |                    |                    |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Cal hidratada - 0%  | Cal hidratada - 1% | Cal hidratada - 2% | Cal hidratada - 3% |
| P1- 2.77            | P4- 3.2            | P7- 3.1            | P10- 5.2           |
| P2- 2.67            | P5- 3.3            | P8- 4.5            | P11- 5.1           |
| P3- 2.62            | P6- 3.4            | P9- 4.2            | P12- 5.0           |

*Nota:* la tabla, detalla los datos del flujo. Fuente: tomada del laboratorio Conchipa.

**Tabla 26***Datos estadístico descriptivos de flujo*

| Cal hidratada | N | Media  | Desviación estándar | Coeficiente de variación | 95% del intervalo de confianza para la media |                 |
|---------------|---|--------|---------------------|--------------------------|--|-----------------|
|               |   |        |                     |                          | Límite inferior                              | Límite superior |
| 0%            | 3 | 2.6867 | 0.07638             | 2.8%                     | 2.4969                                       | 2.8764          |
| 1%            | 3 | 3.3000 | 0.10000             | 3.0%                     | 3.0516                                       | 3.5484          |
| 2%            | 3 | 3.9333 | 0.73711             | 18.7%                    | 2.1022                                       | 5.7644          |
| 3%            | 3 | 5.1000 | 0.10000             | 2.0%                     | 4.8516                                       | 5.3484          |

*Nota:* la tabla, detalla los datos descriptivos del flujo. Fuente: tomada del IBM SPSS.

#### d. Análisis de varianza de flujo

**Tabla 27***Se muestra el análisis de varianza de flujo con la cal hidratada*

| Cal hidratada    | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F      | P      | F crítico |
|------------------|-------------------|----|------------------|--------|--------|-----------|
| Entre grupos     | 9.568             | 3  | 3.189            | 22.413 | 0.0003 | 4.07      |
| Dentro de grupos | 1.138             | 8  | 0.142            |        |        |           |
| Total            | 10.706            | 11 |                  |        |        |           |

*Nota:* la tabla, se observa los datos del Anova con respecto a su flujo. Fuente: tomada de IBM SPSS.

Se afirma con un 95 % de certeza que la  $F >$  que  $F$  crítico, por lo que se descarta  $H_0$ . Se emplea el método Tukey para una mejor verificación.

**Tabla 28***Método Tukey – diferencias de medias con cal hidratada según su flujo.*

| Comparación múltiple Tukey |                      |             |       |                               |                 |  |
|----------------------------|----------------------|-------------|-------|-------------------------------|-----------------|--|
| Cal hidratada              | Diferencia de medias | Desv. Error | P     | Intervalo de confianza al 95% |                 |  |
|                            |                      |             |       | Límite inferior               | Límite superior |  |
| 0% 1%                      | -0.61333             | 0.30800     | 0.267 | -1.5996                       | 0.3730          |  |
| 2%                         | -1,24667             | 0.30800     | 0.016 | -2.2330                       | -0.2604         |  |
| 3%                         | -2,41333             | 0.30800     | 0.000 | -3.3996                       | -1.4270         |  |

|    |    |          |         |       |         |         |
|----|----|----------|---------|-------|---------|---------|
| 1% | 0% | 0.61333  | 0.30800 | 0.267 | -0.3730 | 1.5996  |
|    | 2% | -0.63333 | 0.30800 | 0.245 | -1.6196 | 0.3530  |
|    | 3% | -1,80000 | 0.30800 | 0.002 | -2.7863 | -0.8137 |
| 2% | 0% | 1,24667  | 0.30800 | 0.016 | 0.2604  | 2.2330  |
|    | 1% | 0.63333  | 0.30800 | 0.245 | -0.3530 | 1.6196  |
|    | 3% | -1,16667 | 0.30800 | 0.022 | -2.1530 | -0.1804 |
| 3% | 0% | 2,41333  | 0.30800 | 0.000 | 1.4270  | 3.3996  |
|    | 1% | 1,80000  | 0.30800 | 0.002 | 0.8137  | 2.7863  |
|    | 2% | 1,16667  | 0.30800 | 0.022 | 0.1804  | 2.1530  |

*Nota:* la tabla, detalla el método Tukey respecto a su flujo. Fuente: tomada de IBM SPSS.

La tabla 28, detalla que  $P < 0.05$ , por lo cual se descarta la  $H_0$  en el flujo.

#### 5.4.2. Hipótesis específica 2

La cal hidratada al 1%, 2%, 3% influye en la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a la compresión diametral.

Los resultados del ensayo de tracción en la MAC sin añadir cal hidratada son de 6.0 Mpa, pero con incorporación de cal hidratada del 1% es de 6.22 Mpa, con 2% es de 7.04 Mpa, con 3% es de 5.53 Mpa.

##### ➤ Hipótesis $H_0$ y $H_1$ :

**$H_0$ :** la incorporación de 1%, 2% y 3% de cal hidratada no influye significativamente en las tres medias de tracción indirecta, referente a la mezcla asfáltica común.

**$H_1$ :** la incorporación de 1%, 2% y 3% de cal hidratada si influye significativamente en las tres medias de tracción indirecta, referente a la mezcla asfáltica común.

#### a) Resultado descriptivo

**Tabla 29**

*Resultado de las pruebas de tracción indirecta con cal hidratada*

| Datos de tracción indirecta (Mpa) |                    |                    |                    |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Cal hidratada - 0%                | Cal hidratada - 1% | Cal hidratada - 2% | Cal hidratada - 3% |
| P1- 5.87                          | P4- 6.37           | P7- 7.05           | P10- 5.69          |

|          |          |          |           |
|----------|----------|----------|-----------|
| P2- 6.10 | P5- 6.14 | P8- 7.10 | P11- 5.53 |
| P3- 5.94 | P6- 6.15 | P9- 6.96 | P12- 5.38 |

*Nota:* la tabla, detalla los datos del ensayo TSR. Fuente: tomada del laboratorio Conchipa.

**Tabla 30**

*Datos estadísticos descriptivos de tracción indirecta*

| Cal hidratada | N | Media  | Desviación estándar | Coeficiente de variación | 95% del intervalo de confianza para la media |                 |
|---------------|---|--------|---------------------|--------------------------|--|-----------------|
|               |   |        |                     |                          | Límite inferior                              | Límite superior |
| 0%            | 3 | 5.9700 | 0.11790             | 2.0%                     | 5.6771                                       | 6.2629          |
| 1%            | 3 | 6.2200 | 0.13000             | 2.1%                     | 5.8971                                       | 6.5429          |
| 2%            | 3 | 7.0367 | 0.07095             | 1.0%                     | 6.8604                                       | 7.2129          |
| 3%            | 3 | 5.5333 | 0.15503             | 2.8%                     | 5.1482                                       | 5.9184          |

*Nota:* la tabla, detalla datos descriptivos de a prueba TSR. Fuente: tomada del IBM SPSS.

#### **b) Análisis de varianza de tracción indirecta**

**Tabla 31**

*Se muestra el análisis de varianza de tracción indirecta con la cal hidratada*

| Cal hidratada    | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F      | P      | F crítico |
|------------------|-------------------|----|------------------|--------|--------|-----------|
| Entre grupos     | 3.592             | 3  | 1.197            | 80.001 | 2.E-06 | 4.07      |
| Dentro de grupos | 0.120             | 8  | 0.015            |        |        |           |
| Total            | 3.712             | 11 |                  |        |        |           |

*Nota:* la tabla, detalla los datos del Anova con respecto al ensayo TSR. Fuente: tomada de IBM SPSS.

Se afirma con un 95 % de certeza que la  $F >$  que  $F$  crítico, por lo que se descarta  $H_0$ . Se emplea el método Tukey para una mejor verificación.

**Tabla 32**

*Método Tukey – diferencias de medias con cal hidratada según su TSR*

| Cal hidratada | Diferencia de medias | Comparación múltiple Tukey |   | Intervalo de confianza al 95% |                 |
|---------------|----------------------|----------------------------|---|-------------------------------|-----------------|
|               |                      | Desv. Error                | P | Límite inferior               | Límite superior |

|    |    |          |         |       |         |         |
|----|----|----------|---------|-------|---------|---------|
|    | 1% | -0.25000 | 0.09989 | 0.134 | -0.5699 | 0.0699  |
| 0% | 2% | -1,06667 | 0.09989 | 0.000 | -1.3865 | -0.7468 |
|    | 3% | 0,43667  | 0.09989 | 0.010 | 0.1168  | 0.7565  |
|    | 0% | 0.25000  | 0.09989 | 0.134 | -0.0699 | 0.5699  |
| 1% | 2% | -0,81667 | 0.09989 | 0.000 | -1.1365 | -0.4968 |
|    | 3% | 0,68667  | 0.09989 | 0.001 | 0.3668  | 1.0065  |
|    | 0% | 1,06667  | 0.09989 | 0.000 | 0.7468  | 1.3865  |
| 2% | 1% | 0,81667  | 0.09989 | 0.000 | 0.4968  | 1.1365  |
|    | 3% | 1,50333  | 0.09989 | 0.000 | 1.1835  | 1.8232  |
|    | 0% | -0,43667 | 0.09989 | 0.010 | -0.7565 | -0.1168 |
| 3% | 1% | -0,68667 | 0.09989 | 0.001 | -1.0065 | -0.3668 |
|    | 2% | -1,50333 | 0.09989 | 0.000 | -1.8232 | -1.1835 |

Nota: la tabla, detalla el método Tukey respecto al ensayo TSR. Fuente: tomada de IBM SPSS.

La tabla 32, muestra que  $P < 0.05$ , por lo cual se descarta la  $H_0$  en la prueba de tracción indirecta.

#### 5.4.3. Hipótesis específica 3

La cal hidratada al 1%, 2%, 3% influye en la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de cántabro.

Los resultados de la resistencia al desgaste en la MAC sin añadir cal hidratada fueron de 2.20%, pero con incorporación de cal hidratada del 1% es de 2.66%, con 2% es de 1.56%, con 3% es de 2.15%.

##### ➤ Hipótesis $H_0$ y $H_1$ :

**$H_0$ :** la incorporación de 1%, 2% y 3% de cal hidratada no influye significativamente en las tres medias de la resistencia en el desgaste, referente a la mezcla asfáltica común.

**$H_1$ :** la incorporación de 1%, 2% y 3% de cal hidratada si influye significativamente en las tres medias de la resistencia en el desgaste, referente a la mezcla asfáltica común.

### a) Resultado descriptivo

**Tabla 33**

*Resultados de las pruebas de perdida por desgaste con cal hidratada*

| Datos de perdida por desgaste (%) |                    |                    |                    |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Cal hidratada - 0%                | Cal hidratada - 1% | Cal hidratada - 2% | Cal hidratada - 3% |
| P1- 1.63                          | P4- 4.59           | P7- 1.22           | P10- 1.97          |
| P2- 2.03                          | P5- 1.71           | P8- 1.79           | P11- 1.96          |
| P3- 2.93                          | P6- 1.67           | P9- 1.66           | P12- 2.52          |

*Nota:* la tabla, muestra los datos de perdida por desgaste. Fuente: tomada de laboratorio Conchipa.

**Tabla 34**

*Datos estadísticos descriptivos de perdida por desgaste*

| Cal hidratada | N | Media  | Desviación estándar | Coeficiente de variación | 95% del intervalo de confianza para la media |                 |
|---------------|---|--------|---------------------|--------------------------|--|-----------------|
|               |   |        |                     |                          | Límite inferior                              | Límite superior |
| 0%            | 3 | 2.1967 | 0.66583             | 30.3%                    | 0.5426                                       | 3.8507          |
| 1%            | 3 | 2.6567 | 1.67444             | 63.0%                    | -1.5029                                      | 6.8162          |
| 2%            | 3 | 1.5567 | 0.29872             | 19.2%                    | 0.8146                                       | 2.2987          |
| 3%            | 3 | 2.1500 | 0.32047             | 14.9%                    | 1.3539                                       | 2.9461          |

*Nota:* la tabla, muestra los datos descriptivos de perdida por desgaste. Fuente: tomada de IBM SPSS.

### b) Análisis de varianza

**Tabla 35**

*Análisis de varianza de perdida por desgaste con la cal hidratada*

| Cal hidratada    | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F     | P     | F critico |
|------------------|-------------------|----|------------------|-------|-------|-----------|
| Entre grupos     | 1.832             | 3  | 0.611            | 0.710 | 0.573 | 4.07      |
| Dentro de grupos | 6.878             | 8  | 0.860            |       |       |           |

|       |       |    |
|-------|-------|----|
| Total | 8.710 | 11 |
|-------|-------|----|

*Nota:* la tabla, muestra datos del Anova respecto a la perdida por desgaste. Fuente: tomada de IBM SPSS.

Se afirma con un 95 % de certeza que la  $F <$  que  $F$  crítico, por lo que no se descarta  $H_0$ . Se emplea el método Tukey para una mejor verificación.

**Tabla 36**

*Método Tukey – diferencias de medias y perdida por desgaste*

| Comparación múltiple Tukey |                      |             |       |                               |                 |
|----------------------------|----------------------|-------------|-------|-------------------------------|-----------------|
| Cal hidratada              | Diferencia de medias | Desv. Error | P     | Intervalo de confianza al 95% |                 |
|                            |                      |             |       | Límite inferior               | Límite superior |
| 1%                         | -0.46000             | 0.75708     | 0.927 | -2.8844                       | 1.9644          |
| 0% 2%                      | 0.64000              | 0.75708     | 0.832 | -1.7844                       | 3.0644          |
| 3%                         | 0.04667              | 0.75708     | 1.000 | -2.3778                       | 2.4711          |
| 0%                         | 0.46000              | 0.75708     | 0.927 | -1.9644                       | 2.8844          |
| 1% 2%                      | 1.10000              | 0.75708     | 0.505 | -1.3244                       | 3.5244          |
| 3%                         | 0.50667              | 0.75708     | 0.906 | -1.9178                       | 2.9311          |
| 0%                         | -0.64000             | 0.75708     | 0.832 | -3.0644                       | 1.7844          |
| 2% 1%                      | -1.10000             | 0.75708     | 0.505 | -3.5244                       | 1.3244          |
| 3%                         | -0.59333             | 0.75708     | 0.860 | -3.0178                       | 1.8311          |
| 0%                         | -0.04667             | 0.75708     | 1.000 | -2.4711                       | 2.3778          |
| 3% 1%                      | -0.50667             | 0.75708     | 0.906 | -2.9311                       | 1.9178          |
| 2%                         | 0.59333              | 0.75708     | 0.860 | -1.8311                       | 3.0178          |

*Nota:* la tabla, muestra el método Tukey respecto a la perdida por desgaste. Fuente: tomada de IBM SPSS.

La tabla 36, detalla que  $P$  es  $>0.05$ , por lo cual no se descarta la  $H_0$ , por lo cual no hay discrepancia significativa entre las medias de distintas proporciones de cal hidratada.

## VI. Conclusiones

### 6.1. Conclusión del objetivo general

Se logró demostrar que según a los resultados de laboratorio el añadir cal hidratada afecta de manera positiva en las mezclas asfálticas en caliente. Al añadir cal hidratada al 2% mejorando así sus propiedades mecánicas.

### **6.1.1. Conclusión del objetivo específico 1**

Se logró demostrar que al aplicar cal hidratada al 2% en la MAC incremento su comportamiento de estabilidad y flujo. Al añadir 2% de cal hidratada a la MAC dio como resultado 3225.33 kg/cm, situándose dentro de los parámetros exigidos por la normativa (EG, 2013), que son de (1700-4000 kg/cm). El resultado del MAC tradicional es 3366 kg/cm y con 1% de cal hidratada es de 4131,33 kg/cm, estando por encima de los parámetros mencionados por la norma. Por último, el 3 % de cal hidratada es de 3352,00 kg/cm y está dentro de los límites.

### **6.1.2. Conclusión del objetivo específico 2**

Se logró demostrar que los resultados a la resistencia de tracción indirecta aumentan al agregar la cal hidratada al 2% dando un valor de 7.04 Mpa, llegando así a superar a la mezcla asfáltica tradicional que dio un valor del 6.0 Mpa. Al agregar los porcentajes del 1% y 3% de cal hidratada, se obtuvieron resultados de 6.22 Mpa y 5.53 Mpa, los cuales son menores a la mezcla asfáltica tradicional. Por lo tanto, el agregar cal hidratada al 2% dio mejor resultado en su esfuerzo a la tracción indirecta dando un resultado de 7.04 Mpa.

### **6.1.3. Conclusión del objetivo específico 3**

Se logró demostrar que, en la resistencia al desgaste mediante el ensayo cántabro, la MAC tradicional muestra que el porcentaje de desgaste fue de 2.20 %, mientras que al incorporar cal hidratada al 1%, 2% y 3% sus resultados fueron de 2,60 %, 1,55 % y 2,15 %, respectivamente. Por lo tanto, se determina que el añadir del 2% de cal hidratada dio mejores resultados, siendo menor el desgaste en relación a la mezcla asfáltica habitual.

## VII. Recomendaciones

- Se recomienda para el objetivo general, agregar cal hidratada al 2% debido a que demostró mejores resultados en cuanto a su esfuerzo a la deformación, esfuerzo a la tracción y la resistencia al desgaste.
- Se recomienda para el objetivo específico 1, la adición de la cal hidratada al 2% debido a que se sitúa dentro de los límites exigidos por la norma, cumpliendo así tanto en su estabilidad y flujo. A pesar de que el 3% de cal hidratada se encuentra dentro de los límites de la norma, esta se acerca al límite superior de la norma.
- Se recomienda para el objetivo específico 2, agregar cal hidratada al 2% debido que aumento la resistencia a la tracción indirecta de acuerdo a resultados de laboratorio. Evitar el aumento debido que al incorporar una cantidad mayor esta disminuye el esfuerzo a la tracción.
- Se recomienda para el objetivo específico 3, el añadir de la cal hidratada al 2% debido a que fue el dio resultados de menor desgaste en relación a la mezcla asfáltica tradicional.

## VIII. Referencias

- Alvarez, R., y Olmo, M. (2014). *Operacionalización de conceptos/variables*. Repositorio institucional - Universidad de Barcelona.
- Arias Gómez, J. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Alergia mexico*, 63(2), 201-206. <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación 6ta edición*. Repositorio Episteme.
- Bermeo, V., y Nicole, D. (2021). *Diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada mediante la adición de cal hidratada por vía seca* [Tesis de Título, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional - Universidad Central del Ecuador.
- Chalco, D., y Muñoz, L. (2021). *Desempeño de material de relleno (cal hidratada y cemento portland tipo 1p) y aditivo adherente (antistripping) ante el daño por humedad en la mezcla asfáltica caliente convencional, mediante la metodología marshall y el ensayo aashto t 283, empleando agregados de la cantera: la poderosa de la provincia de Arequipa - Perú* [Tesis de Título, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional - Universidad Católica de Santa María.
- Coronel, R., y Garcia, A. (2023). *Influencia de la fibra de abacá y cal hidratada para el mejoramiento de la mezcla asfáltica en caliente, Trujillo, Perú, 2023* [Tesis de Título, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional - Universidad César Vallejo.
- Cruz, J., y Zaga, N. (2024). *Influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac 2023* [Tesis de Título, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio Institucional - Universidad Tecnológica de los Andes.
- Domínguez, S. (2021). *Asfaltos modificados con agregados de origen calizo* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Chihuahua]. Repositorio Institucional - Universidad Autónoma de Chihuahua.

- EG. (2013). *Manual de carreteras*. Repositorio de Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Gob. (2022). *Provías Nacional entregó 239 kilómetros de carreteras pavimentadas en la Red Vial Nacional*. Gob.pe: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/574338-provias-nacional-entrego-239-kilometros-de-carreteras-pavimentadas-en-la-red-vial-nacional>
- Gob. (2023). *Estadística - Anuario Estadístico del MTC*. Gob.pe: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344726-estadistica-anuario-estadistico-del-mtc>
- Gomez, B., y Matamoros, A. (2022). *Influencia de la cal hidratada en la resistencia de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles en Huancavelica* [Tesis de Título, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Huancavelica.
- González, J. (2012). *SPSS: ANOVA de un Factor*. Repositorio de la Universidad de València.
- Grajales, T. (27 de marzo de 2000). *Tipos de investigación*. Studocu: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-baja-california/metodologia-de-la-investigacion/tipos-de-investigacion/28011006>
- Kikut, k. (2020). Beneficios del uso de cal hidratada en mezclas asfálticas: revisión del estado del arte. *SciELO*, 22(39), 12-19. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2215-37052020000100012](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052020000100012)
- Lopez, P. (2004). Población, muestra y muestreo. *SCIELO*, 9(8), 69-74. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-02762004000100012](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012)
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales E - 515*. Repositorio de Plataforma del Estado Peruano .

- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales E504*. Repositorio de Plataforma del Estado Peruano .
- Olaya, A., y Raigoso, Y. (2023). *Análisis de la optimización del contenido de asfalto a partir de la incorporación de cal hidratada en mezclas densas en caliente* [Tesis de Grado - Especialización, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional - Universidad Católica de Colombia.
- Orellana, R. (2019). *Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maiz* [Tesis de Título, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional - Universidad Ricardo Palma.
- Ramos, R., y Zamudio, M. (2022). *Estudio del comportamiento físico y mecánico del diseño de mezcla asfáltica en caliente adicionando cal hidratada, Av. San Diego, 2021* [Tesis de Título, Universidad Cesar Vallejo. Repositorio Institucional - Universidad Cesar Vallejo.
- Romero, F., y Sánchez, M. (2022). *Diseño de una mezcla asfáltica incorporando fibra de abacá con cal como materiales de refuerzo al comportamiento Marshall* [Tesis de Título, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Chimborazo.
- Sánchez, D. (2022). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos en investigación*. Repositorio de Tepexi boletín científico de la Escuela Superior Tepeji del Río.
- Santa Cruz, P. (2021). *Análisis de nuevas mezclas asfálticas en caliente utilizando material asfáltico reciclado de la Av. Andres Avelino Caceres - Provincia de Concepcion 2020* [Tesis de Título, Universidad Continental]. Repositorio Institucional - Universidad Continental.
- UTEA. (2021). *Comite de ética de investigación*. Repositorio de la Universidad Tecnológica de los Andes
- Valera, F. (2018). *Evaluación del efecto de la cal hidratada y el polvo de ladrillo utilizado como relleno mineral en las propiedades de una mezcla asfáltica* [Tesis de Título,

- Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio Institucional - Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revistas UCR*, 33(1), 155-165. file:///D:/Downloads/538-Texto%20del%20art%C3%ADculo-848-2-10-20120803.pdf
- Vasquez, R. (2021). Uso de aditivos adherentes en el diseño de mezclas asfálticas en caliente: una revisión. *Gaceta Técnica*, 22(1), 66-78.  
<https://www.redalyc.org/journal/5703/570365587003/html/>
- Venega, D., y Zuñiga, A. (2023). *Caracterización mecánica de una mezcla asfáltica usando la cal hidratada y el polvo de ladrillo como relleno mineral* [Tesis de Título, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional - Universidad Señor de Sipán
- Verastegui, F., y Vilela, P. (2024). *Propuesta de diseño de micropavimento modificado con cal hidratada para mejorar la condición de una calzada asfáltica existente en el tramo de 1.9Km del Puente Primavera - Club árabe, Surco*. [Tesis de Título, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional - Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes