

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERÍA CIVIL**



**“INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO  
RECICLADO EN LOS PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN  
CALIENTE PARA LA CIUDAD DE CAJAMARCA”**

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

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**  
Héctor Isaac Ayala Hoyos.

**ASESOR:**  
Mg. Ing. Héctor Hugo Miranda Tejada

CAJAMARCA – PERÚ

2022

**COPYRIGHT** © 2022 by  
HÉCTOR ISAAC AYALA HOYOS  
Todos los derechos reservados

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por todo lo que me ha brindado en la vida, agradezco a mis padres Nancy y Héctor por su apoyo constante y sacrificio. Agradezco a mi esposa Nelly por su paciencia y desvelo a mi lado, a mis hijas Alicia y Micaela por ser el motivo de seguir realizándome como persona.*

*Agradezco a los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de nuestra Universidad de Cajamarca por sus aportes a mi vida académica, en especial al Ingeniero Héctor Hugo Miranda Tejada, por su invaluable ejemplo a seguir y por su aporte en el desarrollo de esta investigación.*

*Agradezco a mi respetado jurado compuesto por los ingenieros: Rosa Llique Mondragón, Alejandro Cubas Becerra y Lincoln Minchán Pajares por sus críticas constructivas a esta investigación y por su invaluable aporte en la formación de ingenieros de nuestra prestigiosa casa de estudios.*

*Agradezco también al Ing. Darwin Castillo Neyra, quien me apoyo con sus conocimientos y experiencia en laboratorio de pavimentos para poder realizar esta investigación.*

## DEDICATORIA

*Dedico la presente investigación a nuestra Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de nuestra Universidad Nacional de Cajamarca, institución que ha sido, es y será forjadora de grandes ingenieros civiles para nuestro País.*

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	II
DEDICATORIA .....	III
ÍNDICE GENERAL .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE APÉNDICE .....	X
ÍNDICE DE ANEXO.....	XI
RESUMEN .....	XII
ABSTRACT .....	XIII
CAPÍTULO I .....	14
1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN .....	16
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.6. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.6.1.Limitaciones .....	17
1.7. OBJETIVOS.....	17
1.7.1.Objetivo General.....	17
1.7.2.Objetivos Específicos.....	17
CAPÍTULO II .....	19
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. ANTECEDENTES.....	19
2.1.1.Antecedentes Internacionales.....	19
2.1.2.Antecedentes Nacionales.....	20
2.2. BASES TEÓRICAS.....	21
2.2.1.Pavimento Flexible.....	21
2.2.2.Mezcla Asfáltica.....	22
2.2.3.Asfalto .....	22
2.2.4.Composición Química del Asfalto.....	23

2.2.5.Cemento Asfáltico.....	24
2.2.6.Agregados Pétreos.....	25
2.2.7.Mezcla Asfáltica en Caliente.....	25
2.2.8.Mezcla Asfáltica Modificada.....	26
2.2.9.Caucho en la Mezcla Asfáltica como Modificador.....	26
2.2.9.1. Incorporación de caucho por vía húmeda.....	27
2.2.9.2. Incorporación de Caucho por vía seca.....	27
2.2.10. Características del Caucho a emplear en las Mezclas Asfálticas (Bituminosas).....	28
2.2.10.1.Caucho obtenido de neumáticos.....	28
2.2.11.Consideraciones en el Diseño de las Mezclas Asfálticas con Caucho.....	29
2.2.11.1.Granulometría de las mezclas con caucho y huecos en mezcla....	30
2.2.11.2.Tiempo de digestión cuando se emplea la vía seca.....	31
2.2.12. Consideraciones para un diseño de mezcla asfáltica idónea.....	31
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	32
CAPÍTULO III.....	35
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
3.1.1.Ubicación Política.....	35
3.1.2.Ubicación Geográfica.....	35
3.1.3.Clima.....	36
3.1.4.Tiempo en que se realizó la investigación.....	36
3.2. METODOLOGÍA.....	36
3.2.1.Tipo de investigación.....	36
3.2.2.Nivel de investigación.....	37
3.2.3.Diseño de Investigación.....	37
3.2.4. Método de investigación.....	37
3.2.5.Diagrama Metodológico.....	37
3.3. VARIABLES.....	38
3.3.1.Variable independiente.....	38
3.3.2. Variable dependiente.....	38
3.4. POBLACIÓN.....	38
3.5. MUESTRA.....	38
3.6. DELIMITACIONES.....	39

3.7. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS .....	39
3.7.1. Materiales .....	39
3.7.2. Instrumentos .....	40
3.7.3. Equipos .....	40
3.8. PROCEDIMIENTO PARA PREPARACIÓN DE MUESTRAS .....	41
3.8.1. Caracterización de los agregados pétreos .....	41
3.8.1.1. Especificaciones de los agregados .....	41
3.8.1.2. Gradación .....	41
3.8.2. Especificaciones del cemento Asfáltico .....	41
3.8.3. Preparación de briquetas patrón y briquetas con caucho .....	43
3.8.3.1. Mezcla de los agregados para ensayos Marshall – Mezcla Asfáltica Convencional .....	45
3.8.3.2. Mezcla de los agregados para ensayos Marshall – Mezcla Asfáltica con polvo de caucho .....	47
3.8.3.3. Mezcla de los agregados para ensayos Cántabro .....	47
CAPÍTULO IV .....	49
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	49
4.1. RESULTADOS .....	49
4.1.1. Resultados de los Ensayos de Control de Calidad de los Agregados .....	49
4.1.1.1. Agregado Grueso .....	49
4.1.1.2. Agregado Fino .....	50
4.1.2. Resultados de los Ensayos Marshall .....	52
4.1.2.1. Diseño y Ensayos de Mezcla Asfáltica en Caliente – Diseño patrón .....	52
4.1.2.2. Diseño y Ensayos de Mezcla Asfáltica en Caliente con Incorporación de Polvo de Caucho .....	59
4.1.2.3. Resultados de los Ensayos Cántabro .....	65
4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	65
4.2.1. Análisis de los Agregados Petreos .....	66
4.2.2. Análisis de Resultados Marshall de la Mezcla Asfáltica Caliente Patrón y Mezclas Asfálticas con incorporación de Caucho .....	66
4.2.2.1. Peso Específico .....	68
4.2.2.2. Estabilidad .....	69
4.2.2.3. Flujo .....	70

4.2.2.4. Vacíos de Aire .....	71
4.2.2.5. Vacíos del Agregado Mineral.....	72
4.2.2.6. Vacíos llenos de Asfalto .....	73
4.2.2.7. Estabilidad / Flujo .....	74
4.2.3. Análisis de Resultados Ensayos Cántabro a las mezclas Asfálticas.....	74
4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	75
4.4. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	76
CAPÍTULO V .....	78
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	78
5.1. CONCLUSIONES .....	78
5.2. RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS.....	81
APÉNDICE.....	84
ANEXOS .....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01 Ubicación Geográfica Cajamarca (ciudad) y Cantera Bazán .....	35
Tabla N° 02 Temperatura media Anual 2010 - 2022 .....	42
Tabla N° 03 Resultados de los Ensayos de Laboratorio Control de Calidad del Agregado Grueso.....	50
Tabla N° 04 Resultados de los Ensayos de Laboratorio Control de Calidad del Agregado Fino .....	51
Tabla N° 05 Resultados del Diseño Mezcla Asfáltica Caliente Patrón.....	52
Tabla N° 06 Resumen de Resultados - Ensayo Marshall – Porcentaje de Cemento Asfáltico .....	58
Tabla N° 07 Resultados Marshall Promedio con Incorporación de polvo de Caucho .....	59
Tabla N° 08 Temperatura de Aplicación del CAP PEN 60/70.....	60
Tabla N° 09 Resultados Ensayos Marshall de Mezcla Patrón e incorporación de polvo de Caucho.....	61
Tabla N° 10 Resultados ensayos cántabro con agregados de mezcla patrón e incorporación de polvo de caucho.....	65
Tabla N° 11 Resumen de los Resultados: Ensayos Marshall .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01 Resultados Marshall - Peso Unitario VS % de Asfalto .....	53
Figura N° 02 Resultados Marshall – Vacíos VS % de Asfalto.....	54
Figura N° 03 Resultados Marshall – V.M.A. VS % de Asfalto.....	54
Figura N° 04 Resultados Marshall – Estabilidad VS % de Asfalto .....	55
Figura N° 05 Resultados Marshall – Flujo (mm) VS % de Asfalto .....	55
Figura N° 06 Resultados Marshall - Vacíos Llenos C.A VS % de Asfalto .....	56
Figura N° 07 Resultados Marshall - Índice Rigidez VS % de Asfalto.....	56
Figura N° 08 Gravedad Específica VS Cemento Asfáltico (%) .....	57
Figura N° 09 Peso Específico: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%) .....	68
Figura N° 10 Estabilidad: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%) .....	69
Figura N° 11 Flujo: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%).....	70
Figura N° 12 Vacíos de aire: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%).....	71
Figura N° 13 V.M.A.: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%).....	72
Figura N° 14 V.LL.CA.: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%) .....	73
Figura N° 15 Estabilidad / Flujo (Kg/cm): Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%) .....	74
Figura N° 16 Desgaste: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%).....	75

## ÍNDICE DE APÉNDICE

Apéndice A. Tablas.....	85
Apéndice A 1 Requisitos para mezcla de concreto bituminoso .....	85
Apéndice A 2 Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA) .....	86
Apéndice A 3 Tipo de Cemento Asfáltico según Penetración .....	86
Apéndice A 4 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración .....	87
Apéndice A 5 Requerimientos para los Agregados Gruesos.....	88
Apéndice A 6 Requerimientos para los Agregados Finos .....	89
Apéndice A 7 Gradaciones especificadas de la ASTM D 3515 .....	90
Apéndice B. Figuras.....	91
Apéndice B 1 Toma de muestras - Agregado grueso (pasante 3/4").....	91
Apéndice B 2 Toma de muestras - Cantera Bazán, Cajamarca .....	91
Apéndice B 3 Visita técnica laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos, INTECPAV - 01 .....	92
Apéndice B 4 Visita técnica laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos, INTECPAV - 02 .....	92
Apéndice B 5 Diagrama de la Metodología Experimental .....	93

## ÍNDICE DE ANEXO

Anexo A. Tablas.....	95
Anexo B. Figuras .....	96
Anexo B 1 Diagrama de flujo de asfaltos derivados del petróleo.....	96
Anexo B 2 Interacción betún-caucho .....	96
Anexo B 3 Principales formas de fabricación de mezclas asfálticas con polvo de caucho.....	97
Anexo B 4 Evolución de la compactibilidad entre mezclas con y sin caucho....	97
Anexo B 5 Composición de un neumático .....	98
Anexo B 6 Diversos usos del caucho provenientes de NFU .....	98
Anexo B 7 Proceso de molienda de neumáticos para el aprovechamiento del caucho.....	99
Anexo B 8 Polvo de caucho - diferentes granulometrías.....	99
Anexo B 9 Mapa Político Administrativo del Departamento de Cajamarca ....	100
Anexo B 10 Ubicación Geográfica - ciudad de Cajamarca.....	101
Anexo C. Sección 415: Disposiciones Generales.....	102
Anexo D. Sección 423: Pavimento de Concreto Asfáltico en caliente .....	106
Anexo E. MTC E 504: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall .....	115
Anexo F. MTC E 508: Peso Específico Teórico Máximo de mezclas asfálticas para pavimentos .....	125
Anexo G. MTC E 515: Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo Cántabro de Pérdida por desgaste .....	133
Anexo H. Informe Técnico del diseño patrón de mezcla asfáltica en caliente – control de calidad.....	135
Anexo I. Informe Técnico del diseño de mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de polvo de caucho – control de calidad .....	197
Anexo J. Informe Técnico del ensayo Cántabro .....	257
Anexo K. Fichas Técnicas de Materiales y Certificados de Calibración del equipamiento .....	274

## RESUMEN

Como resultado de esta investigación se obtuvo una mezcla asfáltica en caliente convencional óptima con el uso de los agregados de la Cantera Bazán para la ciudad de Cajamarca, a dicha mezcla se le incorporó polvo de caucho, la cual fue incluida a la mezcla por vía seca en las proporciones de 1.5, 3.0, 5.0 y 10.0 % con respecto al peso del agregado fino. Para los ensayos realizados se tuvo en cuenta la metodología Marshall y Cántabro que son aceptados por nuestra normativa peruana. Primero se fabricaron 03 briquetas para cada contenido de cemento asfáltico (4.5, 5.0, 5.5, 6.0 y 6.5 %), hallándose en 5.5% el contenido de cemento asfáltico óptimo. A continuación, se fabricaron 03 briquetas con 1.5% de caucho, 03 briquetas con 3.0 %, 03 briquetas con 5.0 % y finalmente 03 briquetas con 10.0 % de caucho para realizar los ensayos Marshall respectivos. De estos ensayos, se dedujo que: al agregar 10% de polvo de caucho a la mezcla asfáltica caliente no se llega a la compactación deseada, por tal motivo se descarta continuar con sus ensayos ya que no se podría determinar su estabilidad y fluidez. La incorporación de 1.5% de caucho es la mezcla con mejores resultados obtenidos dentro de los parámetros Marshall. Los ensayos con cantidades de 3.0 y 5.0 % de contenido de polvo de caucho, obtuvieron una estabilidad aceptable, flujo y vacíos de aire sobre el límite superior de las especificaciones Marshall. De los ensayos Cántabro, se determinó que el diseño asfáltico convencional y los diseños con polvo de caucho tienen resistencias aceptables a la disgregación de la mezcla.

**Palabras Clave:** polvo de caucho, neumáticos fuera de uso, mezclas asfálticas en caliente, asfaltos modificados.

## ABSTRACT

As a result of this investigation, an optimal conventional hot asphalt mix was obtained with the use of aggregates from the Bazán Quarry for the city of Cajamarca, rubber powder was added to said mix, which was included in the dry mix. in the proportions of 1.5, 3.0, 5.0 and 10.0 % with respect to the weight of the fine aggregate. For the tests carried out, the Marshall and Cantabrian methodology was taken into account, which are accepted by our Peruvian regulations. First, 03 briquettes were manufactured for each asphalt cement content (4.5, 5.0, 5.5, 6.0 and 6.5%), finding the optimum asphalt cement content at 5.5%. Next, 03 briquettes with 1.5% rubber, 03 briquettes with 3.0%, 03 briquettes with 5.0% and finally 03 briquettes with 10.0% rubber were manufactured to carry out the respective Marshall tests. From these tests, it was deduced that: adding 10% of rubber dust to the hot asphalt mix does not reach the desired compaction, for this reason it is ruled out to continue with its tests since its stability and fluidity could not be determined. The incorporation of 1.5% rubber is the one that obtained the best results within the Marshall parameters. The tests with amounts of 3.0 and 5.0% of rubber dust content, obtained an acceptable stability, flow and air voids above the upper limit of the Marshall specifications. From the Cántabro tests, it was determined that the conventional asphalt design and the designs with rubber dust have acceptable resistance to the disintegration of the mixture.

**Key words:** tire dust, recycled tires, hot mix asphalt, asphalt modified.

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN.**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN**

El crecimiento de infraestructura vial en nuestra ciudad y su interconexión con ciudades aledañas se ven afectadas principalmente por dificultades climáticas, geológicas y de la poca disponibilidad de recursos que permitan el diseño, construcción de nuevas vías o de la rehabilitación y mantenimiento de las vías existentes. Los pavimentos flexibles, compuestas por una capa de rodadura de tipo asfáltico usados en nuestras vías son una de las alternativas más económicas y que a su vez, cuentan con propiedades necesarias para brindar confort y un mejor servicio para el tránsito de personas y mercaderías.

Los problemas visibles que pueden presentar los pavimentos flexibles locales son el ahuellamiento, deformación por fatiga, fisuración, susceptibilidad térmica y daños por la humedad, por esta razón, en esta investigación se ha buscado implementar una nueva materia prima que mejore las características de los pavimentos flexibles, por tal motivo, presentamos el polvo de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso (N.F.U.) como una alternativa. El aporte de este material es la de igualar o mejorar las características de una mezcla asfáltica en caliente convencional, y que además puede usarse para reciclar los N.F.U. ya que estos son contaminantes y que no cuentan con una disposición final adecuada. La inclusión del polvo de caucho mediante la técnica seca, se basa en el reemplazo de parte del agregado pétreo, en este caso reemplazará al agregado fino, y se buscará como objetivos la mejora en las características medibles a través de la metodología Marshall.

La importancia de poner en uso este material a nivel mundial es de gran importancia por las políticas de fomento de la sostenibilidad de la actividad económica impulsado por nuevos paquetes de economía circular

que se planean para estas décadas venideras donde se busca minimizar los desechos y su aprovechamiento.

Se identificó la incidencia de esta material en el comportamiento final de cada mezcla, contrastar si permite mejoras en las propiedades de resistencia y deformación de la capa de rodadura. Todo esto se realizó mediante ensayos de laboratorio y procedimientos de diseño estandarizados por las normas AASHTO-ASTM-MTC y guías de diseño y fabricación especializadas en la materia.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Cajamarca es una de las principales ciudades de la región Cajamarca y del norte del Perú, cuenta con una población de 348,433 habitantes y con 22,664 vehículos que a diario transitan por sus vías (INEI, 2018), si a esto agregamos los vehículos que vienen de otras regiones, es necesario que sus arterias viales se encuentren en buen estado.

Las principales avenidas, y calles asfaltadas de nuestra ciudad presentan problemas en su transitabilidad, en gran parte por la presencia de fallas estructurales y funcionales que han generado patologías como: hundimientos, ahuellamientos, fisuras y desprendimientos generados por su antigüedad (final de su vida útil), por la baja calidad en los materiales en su composición, por procesos constructivos no supervisados durante su ejecución, por el incremento del transporte pesado (tanto en cantidad como en peso) y por factores climáticos.

Para evitar las fallas que se puedan presentar en las vías asfaltadas futuras es necesario aumentar su durabilidad y para ello se requiere tecnología, calidad, materiales idóneos y aditivos que agreguen valor, por tal motivo, se plantea adicionar polvo de caucho que mejoren los caracteres mecánicos de un pavimento asfáltico.

## **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿De qué manera influye la incorporación de polvo de caucho reciclado en los caracteres de una mezcla asfáltica caliente?

#### **1.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

La incorporación de polvo de caucho reciclado en proporciones de 1.5%, 3%, 5% y 10% proporciona mejoras en los caracteres mecánicos de una mezcla asfáltica convencional para la ciudad de Cajamarca.

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente estudio se justifica técnicamente con el desarrollo dentro de las líneas de investigación de Pavimentos y Materiales, teniendo en cuenta que la inclusión de un aditivo, un llenante u otros elementos buscan mejoras en los caracteres de las mezclas asfálticas que componen un pavimento flexible.

Socialmente se justifica porque, al contar con vías asfaltadas más durables, se mejora la transitabilidad de transeúntes y mercancías, reduciendo tiempo de transporte, aumento del confort de usuarios y ahorro en su mantenimiento.

Dentro de las alternativas que ofrece la ingeniería civil está la incorporación de diferentes materiales, dentro de los cuales también abarca el uso de residuos o materiales reciclados en las mezclas asfálticas.

#### **1.6. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

El estudio es de alcance correlacional, de propósito predictivo, ya que asocia las variables mediante un patrón característico medible de la población.

Se busco evaluar la influencia de la adición del polvo de caucho, que características modifican y si aportan valor a una mezcla asfáltica caliente convencional.

Los resultados obtenidos pueden ser usados por Provias Nacional, Municipalidad Provincial o Gobierno Regional para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente para la ciudad de Cajamarca y ciudades aledañas, tanto para la construcción, y mantenimiento de sus vías asfaltadas.

La investigación también puede servir de guía metodológica para posteriores estudios relacionados.

Para el logro de los resultados nos basamos en el vigente: Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Para Construcción (R.D. N° 22-

2013-MTC/14) así como también norma técnica del MTC: Manual de Ensayos de Materiales (R.D. N° 18-2016-MTC/14) para tener los lineamientos que se deben cumplir.

### **1.6.1. Limitaciones**

Un limitante al inicio de esta investigación fue la falta de un laboratorio de Pavimentos Asfálticos en nuestra localidad. Dicha limitación, fue superada a través de la realización de los ensayos en un laboratorio privado en la ciudad de Lima, a donde se hicieron llegar las muestras de los agregados de la Cantera Bazán. Los ensayos fueron realizados por la empresa “Inversiones & Tecnología de Pavimentos S.A.C.” (INTECPAV), en el laboratorio de suelos, concreto y asfalto ubicado en Cal. Parcela la Capitana – Sara, Lote 8 C.C. Jicamarca (Urb. La Florida - Cajamarquilla, Lima – Perú.

## **1.7. OBJETIVOS**

### **1.7.1. Objetivo General**

- Definir la influencia de la incorporación del polvo de caucho reciclado en los pavimentos de mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca.

### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar los agregados y materiales de nuestra ciudad para la obtención de una mezcla asfáltica convencional óptima.
- Analizar y conocer la estabilidad y flujo Marshall en la mezcla asfáltica convencional patrón.
- Describir un procedimiento de diseño de mezclas asfálticas en caliente con la incorporación de polvo de caucho reciclado obtenido

de la trituración del caucho de neumáticos fuera de uso, el cual se incorpora a la mezcla por vía seca como un agregado pétreo fino.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

**Acosta & Vera** (2017), en su tesis “Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico”, investigación realizada en el contexto ecuatoriano, realiza un análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico. De sus resultados y análisis de estos, llegaron a las siguientes conclusiones: que, al usar caucho de neumáticos usados obtenido del desgaste mecánico, añadiéndolos como polvo a la mezcla asfáltica, la estabilidad Marshall disminuye y a la vez el flujo y contenidos de vacíos y ligante aumenta; y, que además el peso específico bulk de las mezclas asfálticas modificadas con caucho son levemente inferiores a las del asfalto patrón.

**Gallego Medina & Saiz Rodríguez** (2017), en su investigación publicada: “Guía para la fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas con polvo de neumático”, da a conocer los diferentes trabajos experimentales realizados con el caucho. Dentro de sus estudios han podido verificar los efectos del caucho añadido por vía seca como modificador de una mezcla asfáltica, remarcan la gran importancia de la “digestión” de las partículas de caucho para poder aportar ciertas características a las mezclas. Concluyen que las mezclas con caucho pueden funcionar correctamente con el mismo contenido de ligante que las mezclas análogas, que el caucho aporta mayor resistencia a las deformaciones plásticas y obtener una durabilidad incrementada.

**Navarro** (2013), en su trabajo: “Confección y seguimiento de tramos de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho

nacional de neumáticos fuera de uso (NFU) mediante vía seca”, contempla la confección y el seguimiento de dos Tramos de Prueba, con capas de rodadura fabricadas con mezclas asfálticas en caliente modificadas con polvo de caucho obtenido de neumáticos fuera de uso (NFU). En el proceso de incorporación por vía seca, el caucho interacciona con el asfalto en un proceso denominado digestión, en el que se modifica la reología y viscosidad del ligante. Los resultados que obtuvo son que: respecto a las mezclas asfálticas convencionales, se obtiene una mayor resistencia a los cambios térmicos, a la disgregación (menor susceptibilidad a la humedad), al ahuellamiento y al envejecimiento y que, como capa superficial provee al pavimento de una mayor capacidad estructural y de una mayor resistencia al deslizamiento (adherencia).

#### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

**Farfán & Romero (2019)**, En su tesis: “Propiedades Mecánicas del Asfalto en caliente adicionando 1.5% de Caucho”, consistió en determinar las propiedades mecánicas del asfalto en caliente adicionando 1.5% de caucho reciclado granular a la mezcla asfáltica con el fin de mejorar propiedades mecánicas de la mezcla modificada, la metodología empleada fue experimental. Se sometió al ensayo Marshall. Mediante el procesamiento de datos y representación gráfica de los resultados se determinó que efectivamente la adición de 1.5% de caucho reciclado granular mejoro la estabilidad y el flujo de a mezcla asfáltica modificada.

**Goicochea (2017)**, en su tesis: “Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” realiza la adición de caucho de neumático reciclado como polímero base a una mezcla asfáltica en la ciudad de Chachapoyas. El autor concluye que: la adición de caucho de neumáticos reciclados al asfalto PEN 60/70 en las mismas condiciones de fabricación de la mezclas asfálticas, evidencia que cuanto menor es el porcentaje de caucho existente en la mezcla, el asfalto se vuelve más blando y cuanto mayor el porcentaje de caucho existente en la mezcla, el asfalto se vuelve

más rígido; el comportamiento físico - mecánico del asfalto PEN 60/70, es mejorado con la adición de caucho de neumáticos; y, la adición de caucho de neumáticos reciclados al asfalto PEN 60/70, presenta las siguientes ventajas técnicas: mayor cohesión, capacidad elástica óptima ante las deformaciones permanentes, disminución de la susceptibilidad térmica.

**Aliaga** (2017), en su investigación: “Aplicación del caucho reciclado para la mejora de las propiedades de la carpeta asfáltica en pavimentación de la Av. Bertello, Santa Rosa, Lima 2017”, analiza la aplicación del caucho reciclado para la mejora de las propiedades de la carpeta asfáltica en la pavimentación de La Av. Bertello – Distrito de Santa Rosa, asumiendo como premisas que la carpeta asfáltica tiene como dimensiones las propiedades físicas, propiedades mecánicas y resistencia a la deformación; y que, el caucho reciclado tiene como dimensiones al caucho triturado, caucho pulverizado y caucho líquido. Luego de determinar la influencia de la aplicación del caucho triturado en la mejora de las propiedades físicas de la carpeta asfáltica, comprobar la incidencia que tiene la aplicación del caucho pulverizado en la mejora las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica, y, establecer de qué forma la aplicación del caucho líquido mejora la resistencia a la deformación de la carpeta asfáltica en la pavimentación de la Av. Bertello del Distrito de Santa Rosa; el autor en citación concluye que: la aplicación del caucho reciclado mejora el 20% de las propiedades de la carpeta asfáltica.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Pavimento Flexible**

Rondón & Reyes (2022) nos indica que el pavimento flexible puede ser definida como una estructura vial conformada por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares no tratados o ligados (base, subbase, afirmado y subrasante mejorado) que a su vez se soportan sobre el terreno natural o subrasante. Los esfuerzos que generan las cargas vehiculares se disipan a través de

cada una de las capas de la estructura de tal forma que, al llegar a la subrasante, la resistencia mecánica del suelo que la compone debe ser capaz de resistir dichos esfuerzos sin generar deformaciones que permitan el deterioro funcional o estructural de la vía.

### **2.2.2. Mezcla Asfáltica**

Las mezclas asfálticas son la combinación de agregados pétreos y un ligante asfáltico, la fabricación se da normalmente en plantas mezcladoras, pero también pueden fabricarse in situ. Algunas mezclas asfálticas son (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022):

- Mezclas asfálticas en caliente
- Mezclas tibias
- Mezclas densas en frío
- Mezclas asfálticas modificadas
- Materiales granulares estabilizados.

Ligante asfáltico viene a ser conocido técnicamente también como asfalto, el cual tiene diversos usos. Además, también la componen los agregados pétreos y aditivos si son necesarios.

### **2.2.3. Asfalto**

Según Rondón & Reyes (2022), el asfalto es un material que se puede obtener de depósitos naturales o como un derivado del petróleo (obtenido como residuo o por ser extraído con solventes).

Los asfaltos del petróleo son los más empleados y se obtienen por destilación del crudo, que puede ser por vapor o por aire.

El primer sistema produce asfaltos de excelente calidad para pavimentación, al paso que el segundo resulta en productos de poca utilidad en este campo de la construcción, llamados asfaltos oxidados.

Los asfaltos de petróleo pueden tener base asfáltica o base parafínica. Los de la base asfáltica son los que poseen mejores características para su empleo en pavimentación por sus propiedades ligantes y de resistencia a la meteorización.

Los de base parafínica se oxidan paulatinamente al exponerse al aire, dejando un producto pulverulento sin poder ligante. El tipo de base que posea un asfalto depende exclusivamente de las características del crudo del cual proviene.

Para conocer el proceso de obtención del asfalto derivado del petróleo, observemos **Anexo B 1**.

#### **2.2.4. Composición Química del Asfalto**

Según Rondón & Reyes (2022), La configuración de la estructura interna de un asfalto es determinada por la constitución química de sus moléculas. Un asfalto es una mezcla química compleja de moléculas que son predominantemente hidrocarburos con pequeñas cantidades de componentes policíclicos de estructura análogas y grupos funcionales con contenido de azufre, nitrógeno y átomos de oxígeno.

El asfalto también contiene pequeñas cantidades de metales como vanadio, níquel, hierro, magnesio y calcio, los cuales se encuentran como sales inorgánicas y óxidos o en estructuras de porfirina. Un análisis elemental de asfaltos fabricados de una variedad de crudos de petróleos crudos muestra que la mayoría de asfaltos contienen:

- Carbón 82-88 %
- Hidrógeno 8-11%
- Azufre 0-6%
- Oxígeno
- Nitrógeno

Es posible separar los asfaltos en grupos químicos principales llamados Asfaltenos y Maltenos. (Menéndez Acurio, 2012, pág. 85):

- Asfaltenos

Son sólidos amorfos de color negro o marrón, solubles en n-heptano, y que además contienen carbón, hidrógeno, algo de nitrógeno, azufre y oxígeno. Los asfaltenos son generalmente considerados materiales

aromáticos complejos de alta polaridad y con gran peso molecular.

El contenido de asfaltenos tiene un gran efecto en las características reológicas de un asfalto. Aumentando el contenido de asfaltenos se produce un asfalto más duro y viscoso con una baja penetración, mayor punto de reblandecimiento y consecuentemente mayor viscosidad. Los asfaltenos constituyen entre un 5 y 25 % del asfalto.

- Maltenos

a) Resinas, son solubles en n-heptano. Al igual que los asfaltenos tienen una elevada proporción de hidrógeno y carbón y contiene pequeñas cantidades de oxígeno, azufre y nitrógeno.

Son sólidos o semisólidos de color marrón oscuro, su naturaleza es polar y son altamente adhesivos. Las resinas son agentes dispersivos o peptizantes para los asfaltenos.

b) Aromáticos, comprenden los compuestos nafteno – aromáticos de menor peso molecular en el asfalto y representan la mayor proporción de medio de dispersión de los asfaltenos peptizados. Constituyen entre el 40 y 65 % del total del asfalto y son líquidos viscosos de color marrón oscuro.

c) Saturados, consisten en hidrocarburos alifáticos de cadenas lineales abiertas y ramificadas. Son aceites viscosos no polares, los cuales son de color amarillo claro o blanco.

### **2.2.5. Cemento Asfáltico**

El cemento asfáltico a temperatura ambiente es un material sólido viscoso que no puede adherirse al material pétreo, para poder fabricar mezclas es necesario calentarlo a altas temperaturas (entre 135 y 180° C) dependiendo de su viscosidad y rigidez para poder fluidificarlo con el fin de adherirlo al agregado pétreo (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022).

### **2.2.6. Agregados Pétreos**

La denominación “agregados pétreos” en pavimentos se refiere a un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos y/o fillers (naturales o triturados), utilizados ya sea para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos, materiales estabilizados o para la construcción de terraplén, afirmados, bases y/o subbases. Las partículas con diámetro entre 2.0 mm y 6.4 cm son reconocidas como gravas; aquellas con diámetro entre 0.075 y 2.0 mm son reconocidas como arenas (gruesas y finas) y las que tienen un diámetro menor a 0.075 mm son reconocidas como arcillas. Estas últimas también pueden adquirir denominación de filler o llenante mineral si no experimentan plasticidad en contacto con el agua (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022).

Los agregados pétreos son los encargados de soportar las cargas impuestas por el parque automotor y transmitirla en menores proporciones a las capas subyacentes. De la calidad de estos materiales dependerá en gran medida la respuesta a los daños que se presentan en las mezclas asfálticas como el ahuellamiento, la fatiga, daños por humedad, entre otros (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022).

### **2.2.7. Mezcla Asfáltica en Caliente**

Estas mezclas son conocidas como HMA (siglas en inglés), las cuales presentan agregados pétreos con granulometría bien gradada y tamaños de partículas sólidas diferentes (gravas, arena, fino, filler), mezcladas con cemento asfáltico. Estas mezclas son se fabrican a temperaturas altas que oscilan entre los 140 y 180° C aproximadamente. Otras características propias de estas mezclas son la baja presencia de vacíos con aire (entre 3 y 9%). Son mezclas de alta calidad, que pueden ser usadas para conformar cualquier subcapa dentro de la capa asfáltica (rodadura, base intermedia y/o base asfáltica). Su diseño, cuando el tamaño máximo de partícula del agregado pétreo es menor a 1”, se realiza por medio del ensayo Marshall (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022)

### **2.2.8. Mezcla Asfáltica modificada**

Las mezclas asfálticas convencionales tienen limitaciones en cuanto a su resistencia, a la deformación permanente y al fisuramiento en especial cuando se tratan de sollicitaciones mayores como el caso de tráfico canalizado, climas severos o elevadas cargas por eje (Menéndez Acurio, 2012).

Existen en el mundo dos técnicas de utilización de polímero o aditivos para modificar las propiedades de mezclas asfálticas, estas son por vía seca o húmeda. Por vía seca, el aditivo reemplaza parte del agregado pétreo (mayormente las fracciones más finas) y se adiciona a este a alta temperatura para luego recibir el asfalto y formar la mezcla asfáltica. Y por vía húmeda, el polímero o aditivo es agregado al asfalto o cemento asfáltico, también a alta temperatura y luego este ligante modificado es adicionado al agregado pétreo para conformar la mezcla asfáltica (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022).

Los beneficios que se quieren mejorar en las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente son:

- Resistencia a la fisuración debido a la fisuración térmica
- Resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento)
- Reducir la rigidez por bajas temperaturas
- Mejorar la cohesividad de la mezcla
- Aumentar la adherencia entre agregados pétreos
- Mejorar la resistencia a la fatiga
- Aumentar la resistencia al daño por la humedad

### **2.2.9. Caucho en la Mezcla Asfáltica como Modificador**

La tecnología de modificar materiales bituminosos con caucho no es reciente, estudios se han dado desde la década de los 50, pero en la década de los setenta que Charles H. MacDonald descubrió con éxito como incorporar el caucho al asfalto (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2022).

Está generalmente aceptado que el caucho actúa como modificador de la reología de los ligantes asfálticos, de un modo similar, en muchos

aspectos, al que lo hacen los polímeros. En los dos procedimientos conocidos de incorporación del caucho en la mezcla bituminosa, tiene lugar la digestión de las partículas de caucho (Gallego Medina & Saiz Rodríguez, 2017). Según la Figura del **Anexo B 2** con un aumento de temperatura, el caucho (en celeste) empieza un proceso de disolución, al mezclarse con el asfalto, este lo envuelve y procede a iniciarse la digestión del caucho en el asfalto, alrededor se vuelve una especie de gel, para luego estar semi disuelto en el asfalto y es cuando cambian las características de un asfalto convencional.

Para la incorporación de Caucho en una mezcla asfáltica se conocen por dos métodos reconocidos actualmente: vía húmeda y vía seca (ver **Anexo B 3**).

#### *2.2.9.1. Incorporación de caucho por vía húmeda*

La vía húmeda consiste en la adición del polvo de caucho al proceso de mezclado enérgico de betún y caucho, la cual se da a una temperatura entre 185 y 195°C, este proceso debe darse en un lapso de tiempo aproximado a los 60 minutos. Los factores más importantes de este proceso son la temperatura, la energía y el tiempo de mezclado, el tamaño de partícula del caucho, el contenido de aromáticos en el betún y su contenido en caucho natural. (Gallego Medina & Saiz Rodríguez, 2017)

#### *2.2.9.2. Incorporación de Caucho por vía seca*

La vía seca es el método a través del cual se incorpora el caucho a la mezcla bituminosa durante su fabricación, como si se tratase de una fracción de agregado fino.

Hace pocos años la diferencia entre vía húmeda y vía seca se consideraba nítida. El primer procedimiento utilizaba el caucho como un modificador del ligante, mientras en el segundo intervenía como un árido elástico. Sin embargo, los trabajos de laboratorio llevados a cabo han puesto de manifiesto que, si se dispone de tiempo de digestión, el caucho añadido por vía seca a las mezclas asfálticas pierde parte de su comportamiento elástico y puede actuar parcialmente como un modificador

del ligante.

Durante las operaciones de transporte y extensión de la mezcla asfáltica, el caucho está en contacto con el betún a una temperatura de unos 150-160°C y, simultáneamente a su pérdida de características elásticas, se produce una modificación parcial del betún asfáltico utilizado en la fabricación de la mezcla. (Gallego Medina & Saiz Rodríguez, 2017), esto se observa en el **Anexo B 4**.

## **2.2.10. Características del Caucho a emplear en las Mezclas Asfálticas (Bituminosas)**

### *2.2.10.1. Caucho obtenido de neumáticos*

“El neumático es un producto de complejo diseño que cumple exigentes requisitos técnicos (seguridad, eficiencia, durabilidad)” (PBA, 2022).

El neumático en su composición tiene diversos materiales que la componen (Ver **Anexo B 5**):

- Fibras textiles
- Acero
- Caucho (natural, artificial, o ambos)

El neumático fuera de uso es una fuente de recursos:

- Granulado: fabricación de suelos de parques infantiles, parques deportivos, **carreteras**, suelas de calzado, herrajes de animales, aislantes en edificaciones, etc.
- Como combustible de sustitución en grandes hornos (ejemplo: cementeras). También se han ido aplicando como estructuras de amortiguamiento como rompe olas y en vías como protección a motociclistas. En el **Anexo B 6**, se muestra los diferentes usos del caucho.

En cuanto a las características del caucho a emplear, el factor que más influye es la granulometría del polvo de neumático. En general, granulometrías más gruesas ralentizan la interacción betún-caucho y acentúan los problemas de sedimentación y los de compactación. Son aconsejables granulometrías continuas, con tamaños máximos de 0,8 mm para la vía húmeda y tamaños máximos de 0,5 mm para la vía seca.

La composición química del caucho también tiene influencia en las características finales. El parámetro de control debe ser el porcentaje de fracción elastoméricos, así como el contenido de caucho natural en la misma. Son preferibles, para ambos parámetros, valores altos.

Por último, debe considerarse el método de molienda del caucho: a temperatura ambiente o criogénico. En general, es aconsejable el molido a temperatura ambiente, ya que ofrece más superficie específica, y, además es el más habitual en el mercado. (Gallego Medina & Saiz Rodríguez, 2017, pág. 23). Se toma como referencia el **Anexo B 7**.

#### **2.2.11. Consideraciones en el Diseño de las Mezclas Asfálticas con Caucho**

Los componentes habituales de las mezclas bituminosas son los áridos, el polvo mineral y un ligante hidrocarbonado. Las distintas combinaciones de estos componentes hacen que exista una infinidad de tipos de mezclas bituminosas, óptimas en cada caso para unas determinadas aplicaciones. El proceso de diseño comienza con la elección del tipo de mezcla bituminosa a utilizar, los áridos de naturaleza más adecuada, el tipo de polvo mineral a aportar (opcional), la granulometría del conjunto de partículas minerales y el tipo de ligante. Una vez tomadas estas decisiones se comienza el proceso de dosificación en laboratorio, dónde se irán fabricando y ensayando ligeras variaciones de la composición elegida, hasta determinar la composición óptima. El resultado final es una fórmula de trabajo que contiene tanto la proporción óptima de cada componente como datos relevantes sobre la temperatura de fabricación y compactación, y que irá acompañada de las características de la mezcla bituminosa: densidad, huecos en la mezcla, resistencia a la acción del agua y a la

deformación plástica, u otras que resulten de interés por el tipo de mezcla de que se trate. (Gallego Medina & Saiz Rodríguez, 2017)

#### *2.2.11.1. Granulometría de las mezclas con caucho y huecos en mezcla*

Los ligantes con caucho conservan una proporción de partículas de caucho sin integrarse totalmente en el betún, que quedan en suspensión y mantienen cierta elasticidad. En la vía seca este fenómeno es más acentuado. La presencia de estas partículas puede afectar a la estructura final del esqueleto mineral ya que por un lado se está añadiendo un nuevo sólido (las partículas de caucho que quedan sin integrarse en el betún) y por otro estas partículas presentan cierta elasticidad, lo que hace que durante la compactación supongan un obstáculo para la óptima y durable acomodación de las partículas minerales. En efecto, se ha comprobado que estas partículas de caucho “descomprimen” la mezcla bituminosa al cesar la compactación si la temperatura de la mezcla permite aún cierta movilidad a las partículas minerales (Gallego Medina & Saiz Rodríguez, 2017).

De acuerdo a Gallego y Saiz (2017), por la vía seca de incorporación del caucho a la mezcla se debe tener en cuenta:

- Reducir la granulometría del caucho. Cuanto menor es el tamaño máximo del caucho menores serán los problemas de compactación originados por el caucho (ver figura **Anexo B 8**).
- Reducir el contenido de caucho en la mezcla. A menor contenido de partículas de caucho menores serán los problemas de compactación.
- Comprobar que la mezcla ha tenido tiempo suficiente para la digestión del caucho.
- Elevar 5-10°C la temperatura de fabricación de la mezcla bituminosa, para facilitar tanto la digestión del caucho como la trabajabilidad de la mezcla.

Gallego y Saiz (2017), nos indica que cuando se incorpora el caucho por vía seca se exigirán las mismas propiedades y valores que cuando no se incorpora caucho. Sin embargo, debido al proceso de digestión que

ocurre por vía seca en el seno de la mezcla bituminosa, todos los ensayos ofrecen resultados que dependen del progreso de la digestión que se haya alcanzado. Es decir, cuanto mayor es el tiempo de digestión, menor es la presencia de partículas elásticas de caucho libre en la mezcla, por lo que la digestión tiene los siguientes efectos en la mezcla bituminosa:

- Los huecos en mezcla disminuyen al mejorar la eficacia de la compactación.
- La resistencia a la acción del agua aumenta con la aparición de una interfase ligante-caucho de gran afinidad.
- La resistencia a la disgregación también disminuye en el caso de mezclas drenantes.
- Únicamente la resistencia a las deformaciones plásticas evoluciona poco en función del tiempo de digestión, mostrando incluso antes de la digestión los efectos beneficiosos del caucho frente a la formación de roderas.

#### *2.2.11.2. Tiempo de digestión cuando se emplea la vía seca*

El tiempo de digestión de una mezcla con caucho por vía seca es el tiempo transcurrido desde que se fabrica la mezcla hasta que se extiende sobre el pavimento y su temperatura baja sensiblemente, aproximadamente por debajo de 150°C. Por lo tanto, el tiempo de digestión disponible en obra resulta de sumar el tiempo que la mezcla permanece en los silos reguladores de mezcla en caliente (cuando la central dispone de ellos), el tiempo de transporte de la mezcla hasta el tajo de extendido, el tiempo de espera de los camiones cargados e incluso los minutos que la mezcla permanece en la extendedora hasta que se coloca sobre el pavimento (Gallego Medina & Saiz Rodríguez, 2017).

#### **2.2.12. Consideraciones para un diseño de mezcla asfáltica idónea**

Según el Instituto del Asfalto, en su manual de “Construction of Quality Asphalt Pavements (2020)”, el diseño de mezclas consiste en

seleccionar y proporcionar materiales para obtener las propiedades deseadas en el pavimento terminado. El objetivo general del procedimiento de diseño consiste en determinar una combinación y graduación económica de agregados y asfalto que produzca una mezcla con:

- Suficiente asfalto para garantizar un asfalto durable.
- Adecuada estabilidad para que satisfaga las demandas de tránsito sin producir deformación o desplazamiento.
- Un contenido de vacíos lo suficiente alto para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas del tránsito sin que se produzca exudación o pérdida de estabilidad, y todavía lo suficiente bajo para no dejar los efectos dañinos del aire y el agua.
- Suficiente trabajabilidad para permitir una colocación eficiente sin segregación.

### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

- **AR:** Aglutinante de caucho asfáltico (Instituto de Asfalto, 2022).
- ***Aglutinante de caucho asfáltico (AR):*** Cemento asfáltico convencional al que se le ha adicionado caucho de neumático triturado reciclado, que al reaccionar con el cemento asfáltico caliente provoca un hinchamiento y/o dispersión de las partículas de caucho del neumático (Instituto de Asfalto, 2022).
- ***Asfalto:*** un material cementoso de color marrón oscuro a negro en el que los constituyentes predominantes son betunes que se encuentran en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo. El asfalto es un componente en proporciones variables de la mayoría de los petróleos crudos (Instituto de Asfalto, 2022).

- *Concreto asfáltico*: mezcla de alta calidad y minuciosamente controlada de aglomerante asfáltico y agregados de alta calidad, que puede compactarse completamente en una masa uniformemente densa (Instituto de Asfalto, 2022).
- *Digestión del caucho*: interacción con el betún de la mezcla, modificando su comportamiento y sus características. La digestión se lleva a cabo por acción de la temperatura mayores a los 150 °C (Gallego Medina & Saiz Rodríguez, 2017).
- *Estabilidad*: La capacidad de una mezcla de pavimentación asfáltica para resistir la deformación de las cargas impuestas. La estabilidad depende tanto de la fricción interna como de la cohesión (Instituto de Asfalto, 2022).
- *Estructura de pavimento*: un pavimento, incluidas todas sus capas de mezclas de asfalto y agregados, o una combinación de capas de asfalto y capas de agregados sin tratar, colocado sobre la subrasante o la subrasante mejorada (Instituto de Asfalto, 2022).
- *Flexibilidad*: La capacidad de una estructura de pavimento asfáltico para adaptarse al asentamiento de la cimentación. Generalmente, la flexibilidad de la mezcla asfáltica de pavimentación se ve reforzada por un alto contenido de asfalto (Instituto de Asfalto, 2022).
- *Graduación de Penetración*: Un sistema de clasificación de cementos asfálticos basado en penetración en 0.1 mm a 25°C (77°F). Hay cinco grados de penetración estándar para pavimentación: 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300 (Instituto de Asfalto, 2022).
- *Impermeabilidad*: La resistencia que tiene un pavimento asfáltico al paso del aire y el agua hacia o a través del pavimento (Instituto de Asfalto, 2022).
- *Mezcla asfáltica en caliente de hormigón asfáltico (HMA, por sus siglas en inglés)*: mezcla en caliente de alta calidad, minuciosamente controlada, de aglomerante asfáltico (cemento) y agregados de alta calidad bien clasificados, que se pueden compactar en una masa densa uniforme (Instituto de Asfalto, 2022).

- *NFU*: neumáticos fuera de uso (Gallego Medina & Saiz Rodríguez, 2017).
- *Pavimentos asfálticos (Pavimento flexible)*: Pavimentos que consisten en una capa superficial de concreto asfáltico sobre capas de soporte tales como bases de concreto asfáltico, piedra triturada, escoria, grava, concreto de cemento Portland (PCC), ladrillo o pavimento de bloques, bases estabilizadas (Instituto de Asfalto, 2022).
- *Oxidación de los asfaltos*: ocasionada por el efecto de la penetración del oxígeno en el componente asfáltico de un pavimento. Se sabe que el envejecimiento por oxidación cambia la estructura molecular de los asfaltos creando moléculas más grandes y polares (Montejo Fonseca, 2006).
- *Relleno Mineral*: Un producto mineral finamente dividido con un máximo del 3% retenido en el tamiz de 0,800 mm (N.º 30) y al menos el 70% del cual pasará por un tamiz de 0,075 mm (N.º 200). Los rellenos minerales más comunes incluyen piedra caliza pulverizada, polvo de otras piedras, cal hidratada, cemento Portland, cenizas volantes y ciertos depósitos naturales de materia mineral finamente dividida (Instituto de Asfalto, 2022).
- *Viscosidad*: Una medida de la resistencia al flujo de un líquido. Es un método para medir la consistencia del asfalto (Instituto de Asfalto, 2022).

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. Ubicación Política

*Departamento:* Cajamarca

*Provincia:* Cajamarca

*Distrito:* Cajamarca

Se aprecia la ubicación política de la zona de influencia de la presente investigación en el **Anexo B 9**.

##### 3.1.2. Ubicación Geográfica

**Tabla N° 01**

*Ubicación Geográfica Cajamarca (ciudad) y Cantera Bazán*

	COORDENADAS GEOGRÁFICAS			COORDENADAS UTM		
	LATITUD	LONGITUD	Z	Este	NORTE	Z
CAJAMARCA	7° 09' 26" S	78° 31' 31" O	2722.00	773326.00	9208134.90	2722.00
CANTERA BAZÁN	7° 08' 06" S	78° 31' 28" O	2733.00	773431.30	9210593.30	2733.00

*Nota 1.* Las coordenadas y Altitud fueron obtenidas de Google Earth.

*Nota 2.* Zona: 17M, Datum Horizontal: WGS84

La ciudad de Cajamarca se encuentra ubicada en el valle del mismo nombre, la cantera Bazán, de donde se extrajeron los agregados pétreos para esta investigación está ubicada al NE de la ciudad de Cajamarca, en el km 2.91 de la carretera Cajamarca- Bambamarca, (Se muestra la ubicación de la cantera Bazán con respecto a la ciudad en el **Anexo B 10**).

### **3.1.3. Clima**

El clima es semiseco con humedad en todas las estaciones del año y templado, este clima cubre gran parte de la margen izquierda del río Marañón y de manera fragmentada el norte de la provincia de Santa Cruz, este de la provincia de Chota, y el centro de las provincias de Cajamarca y San Ignacio (Senamhi S. N., 2021).

El Perú posee 38 tipos climas, según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite. El cual se representa en el Mapa de Clasificación Climática Nacional (Senamhi S. N., 2021), donde indica que de acuerdo a la zona climática (**C (r) B´**) de la capital del departamento de Cajamarca (ciudad de Cajamarca) se presenta una temperatura máxima entre los 21° a 25° C, una temperatura mínima entre los 7° y 11°C. La temperatura promedio anual es de 15.0° C, este dato se obtuvo del procesamiento del registro promedio mensual proporcionado por Senamhi de los años 2010 al 2022 (registro de Senamhi se puede apreciar en el **Anexo B**, y el procesamiento de esta información se puede apreciar en el ítem 3.8.1.3. del Capítulo III).

### **3.1.4. Tiempo en que se realizó la investigación**

La presente investigación se inició en el mes de junio del año 2022 con la toma de muestras de agregados de la cantera Bazán ubicada en el distrito de Cajamarca; ensayos, elaboración de informe y revisiones se llevaron a cabo desde el mes de julio del 2022 hasta el mes de abril del 2023.

## **3.2. METODOLOGÍA**

### **3.2.1. Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicativo, debido a que sus resultados buscan ser aplicados en los diseños de mezclas asfálticas en caliente.

### **3.2.2. Nivel de investigación**

Por la búsqueda de relación entre variables la investigación es de nivel correlacional, ya que el aumento o disminución del polvo de caucho en la mezcla asfáltica caliente óptima nos determinara si aumenta o baja los parámetros Marshall.

### **3.2.3. Diseño de Investigación**

Esta investigación realizada es de tipo experimental, por la manipulación intencional de variables, que este caso viene a ser la cantidad de polvo de caucho que se ha incluido en la mezcla asfáltica en caliente óptima.

### **3.2.4. Método de investigación**

A través del análisis de los resultados llegaremos a las conclusiones que son abarcadas en el planteamiento del problema. La investigación es de pensamiento inductivo. Por su naturaleza, la investigación, donde se procesarán datos obtenidos de los diferentes ensayos a las muestras a realizarse y convertirlas en información y que estas representen a una población (mediante el uso de la estadística y la matemática) el enfoque de la investigación es Cuantitativa.

*Por lo antes descrito, nuestra investigación es una investigación Cuantitativa, aplicada, experimental, correlacional y de corte transversal.*

### **3.2.5. Diagrama Metodológico**

De acuerdo al método de investigación experimental que llevamos a cabo, es de importancia tener un diagrama del proceso de la investigación para poder tener un camino determinado y el enfoque no se desvíe.

El presente diagrama se inicia desde la elección de los agregados pétreos, se continua con la elección de los parámetros de diseño de la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo a la sección 423 "Pavimento de Concreto Asfáltico en Caliente" del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Para esta investigación se tuvo en consideración utilizar una clase de mezcla tipo A (Marshall MTC E 504) con

parámetros que cumplir de acuerdo a la tabla N° 01 del **Apéndice A**. Posterior a ello se realizó la fabricación de los especímenes para encontrar la mezcla asfáltica en caliente convencional patrón y luego se procedió a la fabricación de las mezclas de asfalto caliente con la incorporación de las diferentes cantidades de polvo de caucho. Por último, se llevó a cabo la evaluación y discusión de resultados (ver figura del **Apéndice B 5**).

### **3.3. VARIABLES**

#### **3.3.1. Variable independiente**

En la presente investigación, la variable independiente viene a ser el polvo de caucho que se incorpora al diseño de la mezcla asfáltica en caliente óptima.

#### **3.3.2. Variable dependiente**

La variable dependiente viene a ser el desempeño de la mezcla asfáltica en caliente, cuyos parámetros de medición serán la estabilidad, fluidez, resistencia y porcentaje de vacíos.

### **3.4. POBLACIÓN**

La investigación tiene como población a las mezclas asfálticas en caliente (MAC).

### **3.5. MUESTRA**

La presente investigación cuenta con dos muestras: la primera compuesta por 15 briquetas para hallar el contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla asfáltica patrón y la segunda muestra, compuesta por 12 briquetas, divididas en 03 briquetas por cada contenido de polvo de caucho ensayados (1.5, 3.0, 5.0 y 10%).

**La Unidad de Análisis:** vienen a ser las briquetas ensayadas, tanto las briquetas para la obtención de la mezcla asfáltica en caliente óptima (patrón), como las briquetas con la inclusión de polvo de caucho.

**Las unidades de observación:** son los resultados obtenidos de la realización de los ensayos Marshall:

Estabilidad, Fluidez, porcentaje de vacíos.

### **3.6. DELIMITACIONES**

Para la homogenización de las variables dependientes, es necesario que se usen materiales o agregados provenientes de la misma Cantera (en este caso provenientes de una única Cantera: Bazán), el uso de cemento asfáltico tipo 60/70 marca Repsol del mismo lote de fabricación, que el procedimiento Marshall de fabricación de briquetas y de los ensayos sean bajo los mismos parámetros. La variable independiente que es la cantidad de polvo de caucho, provenga del mismo tipo de neumáticos fuera de uso.

Para homogenizar el estudio del caucho utilizado en la presente investigación solo se tuvo en cuenta hacer uso de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso tipo camión 12R22.5.

### **3.7. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS**

#### **3.7.1. Materiales**

Para el presente estudio, se utilizaron los siguientes materiales:

- Agregados pétreos (agregado grueso y agregado fino): Grava triturada  $< \frac{3}{4}'' - \frac{1}{2}''$ , Arena triturada  $< \frac{3}{8}''$ , procedentes de Cantera Bazán.
- Polvo de caucho, obtenido de la trituración de neumáticos fuera de uso.
- Cemento asfáltico, tipo PEN 60/70. El empleo de PEN 60/70 está definida por las características climáticas de nuestra ciudad, la cual cuenta con un promedio anual de temperatura de 15° C (Capítulo III,

ítem 3.1.3. Clima).

### **3.7.2. Instrumentos**

Los instrumentos utilizados en el proceso de muestreo fueron:

- Herramientas de mano (pala y pico).
- Tamices para la obtención de los agregados requeridos

Durante el proceso de ensayos se utilizaron diversos instrumentos entre ellos:

- Termómetros.
- Tamices.
- Depósitos varios (bandejas, Bulls, tazones, etc.).
- Libreta de notas.

### **3.7.3. Equipos**

Los equipos utilizados son los usados por el laboratorio de Suelos y Pavimentos tales como:

- Horno
- Cocina
- Máquina Marshall
- Balanzas electrónicas
- Baño María
- Máquina Los Ángeles
- Equipo de cómputo personal.

Los certificados de calibración de los equipos utilizados se encuentran en **Anexo K**.

### **3.8. PROCEDIMIENTO PARA PREPARACIÓN DE MUESTRAS**

#### **3.8.1. Caracterización de los agregados pétreos**

Se Seleccionó, evaluó y analizó los resultados de los ensayos realizados a los materiales (agregados) provenientes de la Cantera Bazán de la ciudad de Cajamarca para proceder al diseño de la mezcla asfáltica caliente óptima. Se tuvo en cuenta en la elección de esta Cantera por la ubicación cercana a la ciudad de Cajamarca. Los resultados se pueden apreciar en el **Anexo H**, tanto para los agregados grueso y fino respectivamente.

Se procedió a la evaluación de los agregados: gravedades específicas, absorción y granulometría.

##### *3.8.1.1. Especificaciones de los agregados*

Se realizaron ensayos a los agregados tanto gruesos y finos, ya que estos deben cumplir con ciertos requerimientos tal como se los mencionan en la sección 423 de Pavimentos de Concreto Asfáltico en Caliente el cual puede revisarse en el **Anexo D** (Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Los requerimientos para los agregados gruesos se aprecian en el **Apéndice A 5**.

Los requerimientos para los agregados finos se aprecian en el **Apéndice A 6**.

##### *3.8.1.2. Gradación*

Se debe ajustar a lo indicado en las especificaciones de la norma peruana y debe responder a los husos granulométricos especificados.

Para nuestro estudio se empleó el HUSO D5 (ver **Apéndice A 7**), ya que la muestra se ajustaba a dicha tabla y la norma lo permite (**Anexo D**).

#### **3.8.2. Especificaciones del cemento Asfáltico**

De acuerdo a las disposiciones generales del Manual de carreteras vigente (2013) que se pueden observar en el **Anexo C**, el cemento asfáltico a

emplear será clasificado por penetración y viscosidad absoluta, y su empleo será según las características climáticas de la región. El clima de la ciudad de Cajamarca (Capítulo III, ítem 3.1.3), tiene una temperatura promedio anual de 15° C, con lo cual se selecciona el tipo de cemento asfáltico 60-70. Para la obtención de la temperatura media anual se procesó la información obtenida de Senamhi (temperatura media mensual desde el año 2010 al año 2022):

**Tabla N° 02**

*Temperatura media Anual 2010 - 2022*

AÑO	T M A
2010	14.9
2011	14.4
2012	14.6
2013	14.8
2014	15.0
2015	15.4
2016	15.6
2017	15.0
2018	14.9
2019	15.2
2020	15.5
2021	14.9
2022	14.8
<b>TEMPERATURA MEDIA ANUAL PROMEDIO (ÚLTIMOS 13 AÑOS)</b>	<b>15.0</b>

*Nota.* Esta tabla ha sido elaborada en base a la tabla de temperatura mensual promedio comprendida entre los años 2010 al 2022 (**Anexo A**).

Una vez obtenida la temperatura media anual, se procede a seleccionar el tipo de cemento asfáltico 60-70 (**Apéndice A 3**), la cual debe cumplir los requisitos de calidad que indica la norma y que se tiene en la presente investigación en el **Apéndice A 4**.

El cemento Asfáltico tipo 60-70 utilizado, tiene su reporte de análisis y que se puede apreciar en el **Anexo k**.

### 3.8.3. Preparación de briquetas patrón y briquetas con caucho

Para la obtención de la cantidad óptima de asfalto en la MAC se realizó la fabricación de 15 briquetas: 3 briquetas con 4.5 % de contenido de cemento asfáltico, 3 briquetas con 5.0 % de contenido de cemento asfáltico, 3 briquetas con 5.5 % de contenido de cemento asfáltico, 3 briquetas con 6.0 % de contenido de cemento asfáltico y 3 briquetas con 6.5 % de contenido de cemento asfáltico. Del ensayo de los especímenes, se obtuvo el óptimo de cemento asfáltico en 5.5% (los resultados a detalle en **Anexo H**). Según el manual de Ensayos MTC E 504 (**Anexo E**), el mínimo de especímenes o briquetas a ensayar son 3 por cada contenido de cemento asfáltico.

Obtenido el óptimo de cemento asfáltico, se procedió a realizar el ensayo RICE para determinar de manera teórica la gravedad específica, absorción y asfalto efectivo. Para este proceso se ensayaron 5 mezclas de 1500 gramos de la MAC con los diferentes contenidos de cemento asfáltico (muestra mínima exigida de acuerdo a norma MTC E 508 – **Anexo F**). El peso específico máximo es empleado en el cálculo de vacíos de aire en mezclas compactadas, así también para el cálculo de la cantidad de bitumen absorbido por el agregado, y finalmente para proveer valores referenciales para la compactación de mezclas empleadas en pavimentación (MTC, 2016). Los resultados obtenidos pueden apreciarse en el **Anexo H**.

Como parte del procedimiento Marshall también se fabricaron briquetas para obtener índice de compactabilidad y estabilidad retenida, esto se realiza sobre la MAC patrón (óptimo de cemento asfáltico 5.5%). Para el índice de compactabilidad se fabricaron 6 briquetas, dividiéndolas en dos grupos de acuerdo al número de golpes (50 y 05 golpes), esto de acuerdo a la norma ASTM D 1559 / AASHTO T 245. Resultado del ensayo: 5.9, resultado aceptable (resultados se muestran en el **Anexo H**).

Para la obtención de la estabilidad retenida se fabricaron 6 briquetas, divididas en dos grupos (3 para cada grupo, para hallar el promedio), donde la variable entre estos dos grupos es el tiempo de inmersión en agua (1440 min. Y 240 min.) tal como indica la norma MTC E 518 (ASTM D 1075 / AASHTO T 165). La relación ente la estabilidad de las muestras sumergidas

en agua a 60° y a 25° C debe ser igual o mayor a 75%, para que la mezcla sea aceptada, y de acuerdo a nuestro resultado (83.5 %) es aceptada (resultados se muestran en el **Anexo H**).

Obtenido la mezcla asfáltica óptima y sus comprobaciones, se procedió a la fabricación de briquetas con la inclusión del polvo de caucho como reemplazante del agregado fino en las proporciones de: 1.5, 3.0, 5.0 y 10%, siendo un total de 12 briquetas, 3 por cada contenido de polvo de caucho. Según el manual de Ensayos MTC E 504 (referencia ASTM-D6926), el mínimo de especímenes o briquetas a ensayar son 3 por cada contenido de cemento asfáltico (se puede revisar dicha norma en el **Anexo E**). De acuerdo a la investigación previa, se comprobó que los estudios de incorporación de polvo de caucho a mezclas asfálticas han sido menores al 2.0 % y con diferencias de décimas, teniendo variabilidades en los caracteres Marshall muy tenues, por lo cual en esta investigación se buscó considerar incluir el polvo de caucho en cantidades diferenciadas más resaltantes.

También se fabricaron mezclas para el RICE con el contenido óptimo de cemento asfáltico y para cada porcentaje de inclusión de polvo de caucho, es decir se fabricaron 3 muestras, una por cada incorporación de polvo de caucho (1.5, 3.0 y 5.0% respectivamente). La cantidad de muestras mínima es de 01 de acuerdo a norma: MTC E 508 – **Anexo F**).

Por último, se fabricaron briquetas para el ensayo Cántabro (de acuerdo a Norma – **Anexo G**), siendo un total de 8 unidades, 2 para la MAC patrón (convencional), 2 con contenido de 1.5% de polvo de caucho, 2 con contenido de 3.0 y 2 unidades con contenido de 5.0% de polvo de caucho. estos ensayos tienen carácter informativo, para revisar si el desgaste a través de la máquina de los ángeles a las mezclas con contenido de polvo de caucho podía tener una durabilidad aceptable a pesar de los vacíos que presentaban de los ensayos Marshall.

En base a lo anterior descrito, describimos a continuación la secuencia de los trabajos realizados para obtener la información de los ensayos realizados a las diferentes mezclas:

### *3.8.3.1. Mezcla de los agregados para ensayos Marshall – Mezcla Asfáltica Convencional*

Se debe tener en cuenta las recomendaciones que se indican en el “Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (2013) para el tipo de asfalto a usar (**Anexo D**). En el presente estudio, la clase de mezcla es del tipo A.

Para iniciar, se procede a secar los agregados con el uso de un horno a una temperatura promedio de 150° C.

Se procede a mezclar los agregados en las proporciones indicadas en los ensayos previos. Se pesan los contenedores con los agregados petreo, los cuales previamente hemos mezclado en seco con uso de una paleta o cuchara, posterior a ello, se procede a colocar el cemento asfáltico (el cual previamente ha sido pesado) teniendo en cuenta que no se pierda agregados y cemento. Se mezcla los componentes en un boll hasta homogenizar la mezcla, evtando brumos y que el material este completamente cubierto por el cemento asfáltico. La temperatura durante el proceso debe mantenerse superior a los 150° C.

Obtenida la mezcla homogenea, esta se la coloca en el horno a una temperatura de 160° C por dos horas, simulando asi el tiempo que la mezcla se mantiene en el transporte a obra. Se procede a tener el mismo procedimiento para todas las briquetas.

Para la compactación de los especimenes, se limpian los moldes y la cara del matillo de compactación. Molde y martillo son calentados en el horno a una temperatur ade 150° C. Se coloca un papel no absorbente cortado a medida del tamaño de la base del molde, colocando en el fondo del molde. Se chusea la mezcla con una espatula 15 veces alrededor del perimetro y 10 veces en el medio, esta espatula previamente se la calienta. Se coloca otra pieza de papel en la parte superior de la mezcla. Se debe revisar la temperatura de la mezcla antes de iniciar a compactar, la cual debe esta entre los límites de temperatura establecidas.

Se coloca el molde ensamblado en el pedestal de compactación y se aplica 75 golpes con el martillo compactador. Se da vuelta al molde y se procede a aplicar 75 golpes mas al especimen. Se remueve el collar y la

placa base, se deja enfriar las briquetas para su extracción del molde. Para el enfriamiento podemos hacer uso de un ventilador o de sumergir las briquetas en agua. En nuestro caso dejamos enfriar con ayuda de ventilador.

Para cada ensayo con la cantidad de cemento asfáltico se fabricaron 03 briquetas, para las cuales se ha tenido bastante cuidado en mantener las mismas características tanto en materiales, calidad, así como compactación, enfriamiento, etc.

Las briquetas luego del enfriamiento de las mismas se procede a determinar su peso específico por el método ASTM D 2726.

Para la realización de los ensayos se procedió a llevar a los especímenes a horno sumergidos en agua durante 30 minutos a una temperatura de 60° C.

Se limpia completamente las líneas guías y el interior de las superficies del cabezal antes de ejecutar el ensayo. El cabezal se mantuvo a una temperatura de 30° C aproximadamente.

Las briquetas son retiradas del agua, secándose superficialmente con una toalla, se las colocó en el segmento inferior del cabezal, realizado esto, se coloca el segmento superior sobre la probeta, para luego colocar todo el conjunto en la máquina de carga. Se coloca el flujómetro en posición, sobre una de las líneas guías y se la ajusta a que marque cero.

Se debe tener en cuenta que no se debe sobrepasar los 30 segundos entre el retiro del agua de las briquetas y los ensayos.

La carga se aplica a una razón de 50 mm/min. Se registra la máxima carga indicada, se anota también la lectura del dial micrómetro en el instante en que la máxima carga empieza a decrecer. Para este proceso estuvimos presentes tres personas registrando los datos requeridos.

Obtenidos los datos, se procede a llenar en el formato digital para proceder a realizar el trabajo de gabinete.

### 3.8.3.2. *Mezcla de los agregados para ensayos Marshall – Mezcla Asfáltica con polvo de caucho*

Se lleva a cabo los mismos parámetros y especificaciones de la normativa peruana vigente y que ha sido descrita líneas arriba (Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013), solo el proceso de incluir el caucho es que seremos exhaustivos en la descripción:

Luego de haber calentado y mezclado los agregados a una temperatura de 150° C, se agrega el polvo de caucho en el peso especificado de acuerdo a los cálculos previos. Todo el conjunto es mezclado en un bowl con ayuda de una espátula o cuchara hasta obtener una mezcla homogénea, realizado esto, se lleva esta mezcla al horno a una temperatura de 170° C por una hora. Transcurrido este tiempo se procede a agregar el cemento asfáltico en la proporción calculada, el cemento asfáltico también es previamente calentado a una temperatura constante de 150° C; obtenida la mezcla se la lleva nuevamente al horno por dos horas a una temperatura de 160°C para favorecer la digestión de las partículas del polvo de caucho, lo cual simula el tiempo en que se transporta la mezcla hacia su punto final de aplicación y/o uso.

El procedimiento de compactado y ensayos es el mismo que con briquetas de diseño convencional, es pertinente indicar que se debe tener mucho cuidado con el control de homogenización de las mezclas, así como tener siempre la temperatura indicada durante todo el proceso.

### 3.8.3.3. *Mezcla de los agregados para ensayos Cántabro*

De acuerdo a la norma MTC E 504 (**Anexo E**), la preparación de las briquetas para estos ensayos es el mismo que el proceso del método Marshall, solo varía en sí, los ensayos que a continuación se describen:

Es necesario la máquina para ensayo por desgaste de Los Ángeles, la cual debe tener las características de la norma MTC E 207.

Para los presentes ensayos solo se pudo realizar dos muestras para cada contenido de adición de caucho (1.5, 3.0 y 5.0%) así como dos briquetas de diseño convencional.

Obtenidas las briquetas a ensayar se procede a anotar la masa de estas, se introduce una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y sin la carga abrasiva de las bolas, se gira el tambor a la misma velocidad de acuerdo a norma MTC E 207 (30 a 33 rpm) durante 300 vueltas.

Finalizado se retiran las briquetas y se pesa nuevamente. Estos datos obtenidos se proceden a procesarlos en gabinete para determinar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión que pueden ser originados por el tráfico.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Resultados de los Ensayos de Control de Calidad de los Agregados

Los resultados realizados en el laboratorio de Inversiones & Tecnología de Pavimentos S.A.C. – INTECPAVSAC, los cuales están fedateados en el informe de la investigación el cual viene adjunto en el **Anexo G**.

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los agregados pétreos de la Cantera Bazán de la ciudad de Cajamarca son los siguientes:

##### 4.1.1.1. Agregado Grueso

De los ensayos realizados al agregado grueso, se obtuvieron los resultados que a continuación se presentan (tabla N° 03), estos, fueron realizados de acuerdo a la norma peruana vigente (Manual de Ensayo de Materiales, 2016; Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) y con los parámetros de calidad requeridos para la fabricación de una mezcla asfáltica en caliente y dar validez a la investigación.

**Tabla N° 03**

*Resultados de los Ensayos de Laboratorio Control de Calidad del Agregado Grueso*

ENSAYOS	NORMA	RESULTADO	REQUERIMIENTO		CONDICIÓN
			ALTITUD (MSNM)		
			≤3.000	>3.000	
DURABILIDAD (AL SULFATO DE SODIO)	MTC E 209	4.48	12% máx.	10% máx.	<b>Cumple</b>
DURABILIDAD (AL SULFATO DE MAGNESIO)	MTC E 209	5.06	18% máx.	15% máx.	<b>Cumple</b>
ABRASIÓN LOS ÁNGELES	MTC E 207	24.4	40% máx.	35% máx.	<b>Cumple</b>
ADHERENCIA	MTC E 517	+ 95%	+95		<b>Cumple</b>
ÍNDICE DE DURABILIDAD	MTC E 214	71.0	35% mín.	35% mín.	<b>Cumple</b>
PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	ASTM D 4791	3.5	10% máx.	10% máx.	<b>Cumple</b>
CARAS FRACTURADAS	MTC E 210	90.3 / 76.6	85/50	90/70	<b>Cumple</b>
SALES SOLUBLES TOTALES	MTC E 219	0.1178	0,5% máx.	0,5% máx.	<b>Cumple</b>
ABSORCIÓN	MTC E 206	0.77	1,0% máx.	1,0% máx.	<b>Cumple</b>

*Nota.* Tabla resumen adaptada de la tabla 423-01, pág. 265 del Manual de Carreteras, Especificaciones Técnica Generales para Construcción (EG-2013).

La tabla N° 03, nos muestra que el agregado grueso proveniente de la Cantera Bazán, cumple con las especificaciones técnicas requeridas para su uso en la presente investigación en la fabricación de un pavimento asfáltico en Caliente. Los resultados obtenidos a los diferentes ensayos realizados al agregado grueso, se encuentran en los resultados del laboratorio – **Anexo H**.

#### 4.1.1.2. Agregado Fino.

Al igual que los ensayos realizados al agregado grueso, se realizaron los ensayos correspondientes al agregado fino para determinar los

parámetros necesarios para el diseño y ensayos correspondientes de la presente investigación y que estuvieron de acuerdo a la normativa peruana. Los resultados se pueden apreciar en la tabla N° 04 que a continuación se presenta:

**Tabla N° 04**

*Resultados de los Ensayos de Laboratorio Control de Calidad del Agregado Fino*

ENSAYOS	NORMA	RESULTADO	REQUERIMIENTO		CONDICIÓN
			ALTITUD (msnm)		
			≤3.000	>3.000	
EQUIVALENTE DE ARENA	MTC E 114	<b>73.0</b>	60	70	<b>Cumple</b>
ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO	MTC E 222	<b>41.2</b>	30	40	<b>Cumple</b>
AZUL DE METILENO	AASHTO TP-57	<b>4.87</b>	8% máx.	8% máx.	<b>Cumple</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (MALLA N° 40)	MTC E 111	<b>N.P.</b>	NP	NP	<b>Cumple</b>
DURABILIDAD (AL SULFATO DE MAGNESIO)	MTC E 209	<b>7.13</b>	-	18% máx.	<b>Cumple</b>
ÍNDICE DE DURABILIDAD	MTC E 214	<b>61.0</b>	35 mín.	35 mín.	<b>Cumple</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (MALLA N° 200)	MTC E 111	<b>N.P.</b>	4 máx.	NP	<b>Cumple</b>
SALES SOLUBLES TOTALES	MTC E 219	<b>0.0663</b>	0,5% máx.	0,5% máx.	<b>Cumple</b>
ABSORCIÓN	MTC E 205	<b>0.43</b>	0,5% máx.	0,5% máx.	<b>Cumple</b>

*Nota.* Tabla resumen adaptada de la tabla 423-01, pág. 265 del Manual de Carreteras, Especificaciones Técnica Generales para Construcción (EG-2013).

La tabla N° 04, nos muestra que el agregado fino proveniente de la Cantera Bazán, cumple con las especificaciones técnicas requeridas para su uso en la presente investigación en la fabricación de un pavimento asfáltico en Caliente. Los resultados obtenidos a los diferentes ensayos

realizados al agregado fino, se encuentran en los resultados del laboratorio – Anexo H.

#### 4.1.2. Resultados de los Ensayos Marshall

##### 4.1.2.1. Diseño y Ensayos de Mezcla Asfáltica en Caliente – Diseño patrón

A continuación, se presenta en la tabla N° 05 el resumen de los resultados obtenidos en laboratorio, siguiendo las normas de calidad requeridas de acuerdo a MTC E 504 (Anexo E):

**Tabla N° 05**

*Resultados del Diseño Mezcla Asfáltica Caliente Patrón*

MEZCLA ASFÁLTICA PATRÓN				
ESPECIFICACIONES MARSHALL		OBTENIDO	ESPECIFICACIÓN EG - 2013	EVALUACIÓN
ÓPTIMO CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO - CAP PEN 60/70 (%)		5.50	SEGÚN DISEÑO	SEGÚN DISEÑO
PESO UNITARIO (G/CM3)		2.240	SEGÚN DISEÑO	SEGÚN DISEÑO
VACÍOS (%)		4.0	3--5	<b>APROBADO</b>
V.M.A. (%)		16.9	MIN 14	<b>APROBADO</b>
V.F.A (%)		76.7	65 - 78%	<b>APROBADO</b>
FLUJO (MM)		3.7	2--4	<b>APROBADO</b>
ESTABILIDAD (KG)		1607.4	MIN 815	<b>APROBADO</b>
ÍNDICE DE RIGIDEZ (KG/CM)		3818.5	1700--4000	<b>APROBADO</b>
ESTABILIDAD RETENIDA (%)		83.5	MIN 70%	<b>APROBADO</b>
ÍNDICE DE COMPACTIBILIDAD		5.90	MIN 5	<b>APROBADO</b>
DOSIFICACIÓN				
CEMENTO ASFÁLTICO (60-70)		5.50 %		Referencia sólo a Curva Granulométrica
GRAVA CHANCADA 3/4"	Cantera Bazán	30%	<b>Grava</b>	<b>47%</b>
ARENA CHANCADA < 1/4"	Cantera a Bazán	70%	<b>Arena</b>	<b>53%</b>
<b>Agregado Total</b>				<b>100.0</b>
TEMPERATURAS DE TRABAJO				
TEMPERATURA DE AGREGADOS			150 °C	

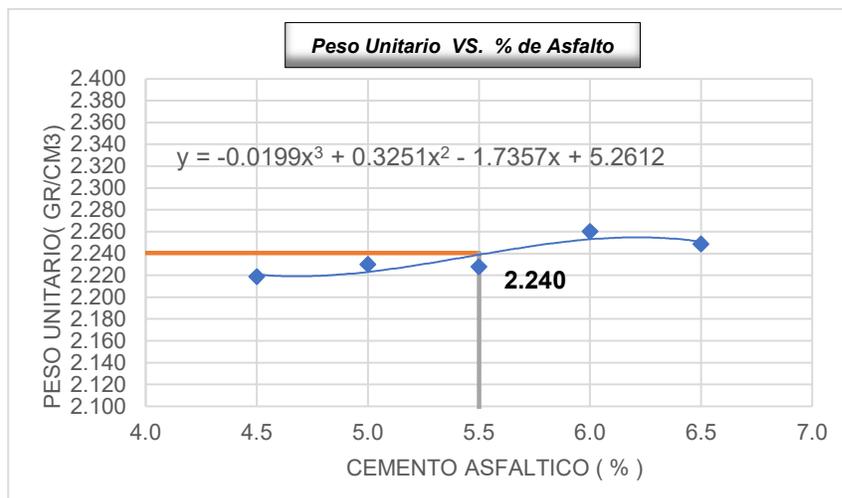
TEMPERATURA DE MEZCLADO	149 °C - 154 °C
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN	100 °C - 143 °C

*Nota.* De acuerdo a los ensayos Marshall realizados se obtuvo que el contenido óptimo de cemento asfáltico es de 5.5% con una proporción de agregados de 30 y 70% de agregados grueso y fino respectivamente, siendo esta la base de nuestra investigación de incorporación de polvo de caucho.

En una gráfica a escala logarítmica (figuras desde la N° 01 a la N° 08), los resultados de los contenidos de cemento asfáltico son colocados para ajustar los parámetros idóneos de la mezcla asfáltica en caliente óptima. Con el uso de un software (Excel) y ecuaciones matemáticas se obtienen los datos requeridos.

**Figura N° 01**

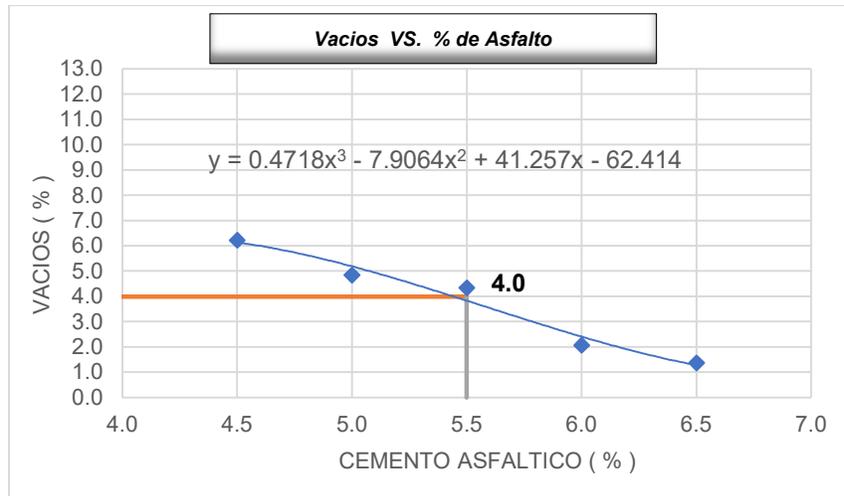
*Resultados Marshall - Peso Unitario VS % de Asfalto*



*Nota.* Del gráfico, podemos determinar que el contenido óptimo de cemento asfáltico se aproxima a 5.5%, con un peso unitario de 2.24 gr/cm<sup>3</sup>

**Figura N° 02**

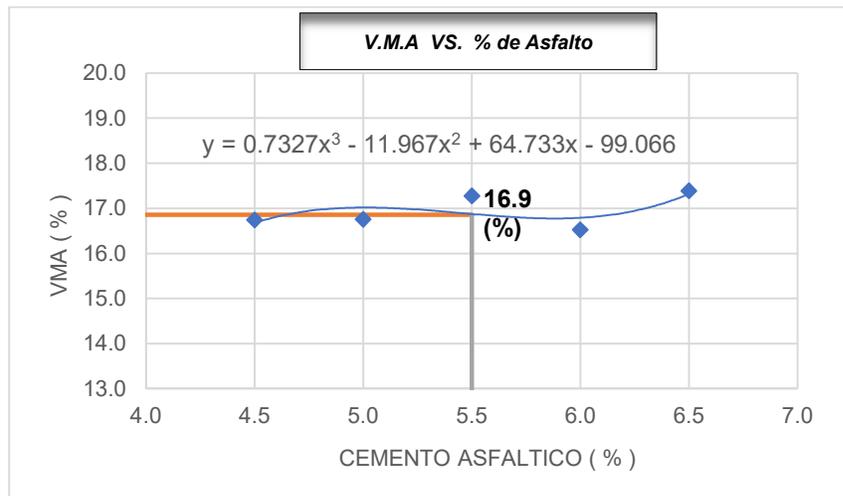
*Resultados Marshall – Vacíos VS % de Asfalto*



*Nota.* Del gráfico, podemos determinar que el contenido óptimo de cemento asfáltico se aproxima a 5.5%, con un porcentaje de Vacíos de 4.0%

**Figura N° 03**

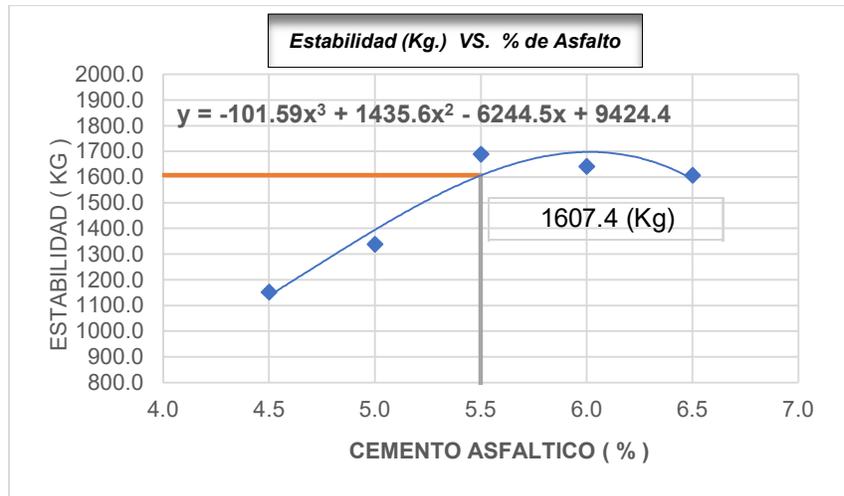
*Resultados Marshall – V.M.A. VS % de Asfalto*



*Nota.* Del gráfico, podemos determinar que el contenido óptimo de cemento asfáltico se aproxima a 5.5%, con un Vacío en el agregado mineral es de 16.9%

**Figura N° 04**

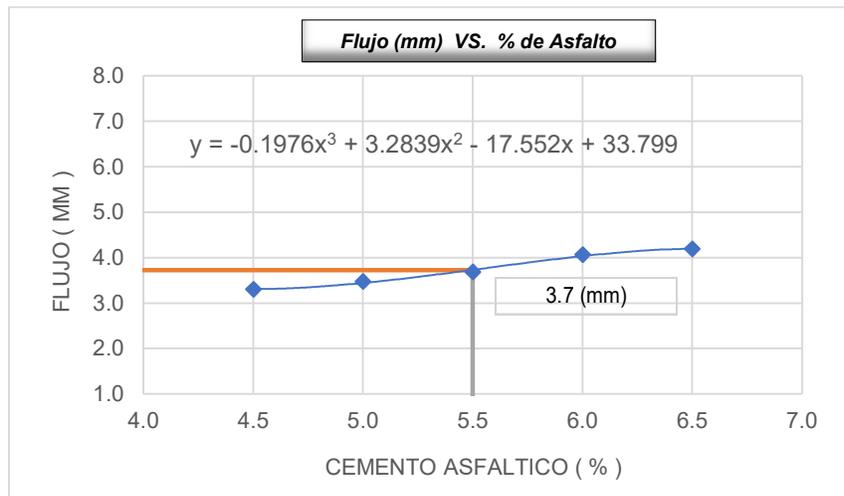
*Resultados Marshall – Estabilidad VS % de Asfalto*



*Nota.* Del gráfico, podemos determinar que el contenido óptimo de cemento asfáltico se aproxima a 5.5%, con una estabilidad de 1607.4 Kg.

**Figura N° 05**

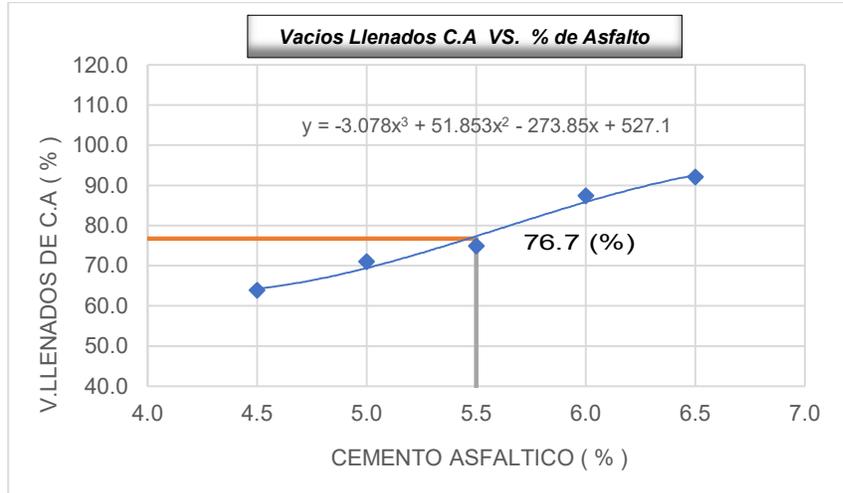
*Resultados Marshall – Flujo (mm) VS % de Asfalto*



*Nota.* Del gráfico, podemos determinar que el contenido óptimo de cemento asfáltico se aproxima a 5.5%, con un flujo de 3.7 mm

**Figura N° 06**

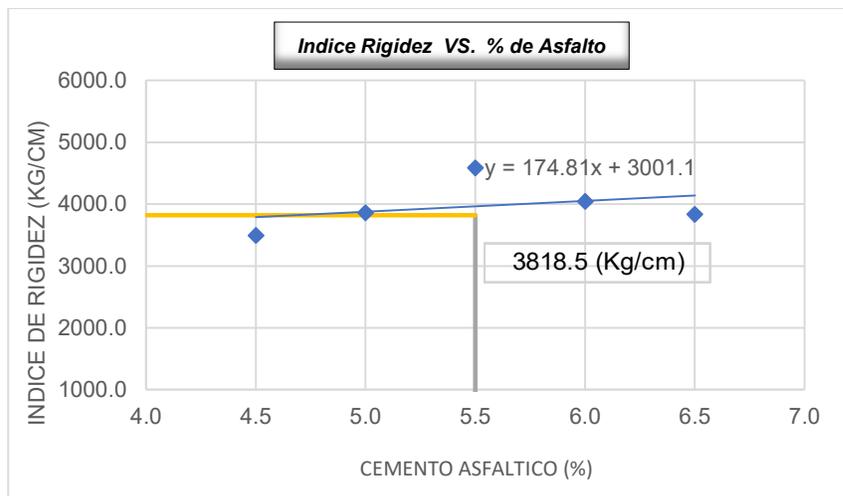
*Resultados Marshall - Vacíos Llenos C.A VS % de Asfalto*



*Nota.* Del gráfico, podemos determinar que el contenido óptimo de cemento asfáltico se aproxima a 5.5%, con un vacío llenos de cemento asfáltico de 76.7%

**Figura N° 07**

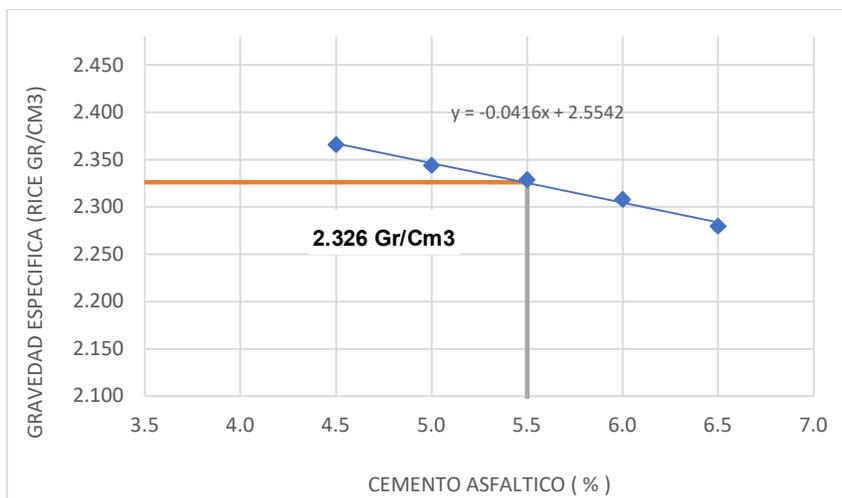
*Resultados Marshall - Índice Rigidez VS % de Asfalto*



*Nota.* Del gráfico, podemos determinar que el contenido óptimo de cemento asfáltico se aproxima a 5.5%, con un índice de rigidez de 3818.5 Kg/cm

**Figura N° 08**

*Gravedad Específica VS Cemento Asfáltico (%)*



*Nota.* Del gráfico, podemos determinar que el contenido óptimo de cemento asfáltico se aproxima a 5.5%, con una gravedad específica de 2.326 gr/cm<sup>3</sup>

En el **Anexo H**, se presentan todos los resultados de los ensayos realizados para la obtención de la mezcla asfáltica caliente óptima haciendo uso de los agregados de la Cantera Bazán ubicada en Cajamarca.

De los ensayos Marshall, se elabora la tabla N° 06, donde se resumen los resultados de cada contenido de cemento asfáltico óptimo:

**Tabla N° 06**

*Resumen de Resultados - Ensayo Marshall – Porcentaje de Cemento Asfáltico*

% CEMENTO ASFÁLTICO	PESO			VOLUMEN DE LA PROBETA	PESO ESPECÍFICO			VACÍOS AL AIRE (%)	V.M.A. (%)	VACÍOS LLENADOS C.A. (%)	FLUJO (MM)	CARGA (KG)	ÍNDICE RIGIDEZ (KG/CM)
	PESO BRIQUETA AL AIRE	PESO PROBETA SATURADA	PESO PROBETA EN EL AGUA		BULK DE LA BRIQUETA	MÁXIMO RICE	MÁXIMA DENSIDAD TEÓRICA						
4.50	1199.9	1201.2	661.9	539.3	2.225	2.366	2.406	5.96	16.51	63.89	3.30	1129	3419.2
	1203.2	1205.7	660.9	544.8	2.209	2.366	2.406	6.66	17.13	63.89	3.30	1163	3520.6
	1211.7	1213.1	668.1	545.0	2.223	2.366	2.406	6.03	16.58	63.89	3.30	1166	3531.9
<b>PROMEDIO</b>					<b>2.219</b>	<b>2.366</b>	<b>2.406</b>	<b>6.22</b>	<b>16.74</b>	<b>63.89</b>	<b>3.30</b>	<b>1153</b>	<b>3490.6</b>
5.00	1210.0	1211.5	670.2	541.3	2.235	2.344	2.389	4.63	16.56	72.02	3.43	1311	3824.1
	1214.2	1215.9	671.3	544.6	2.230	2.344	2.389	4.88	16.78	70.90	3.43	1350	3938.1
	1203.8	1204.6	663.8	540.8	2.226	2.344	2.389	5.04	16.91	70.23	3.56	1356	3813.1
<b>PROMEDIO</b>					<b>2.230</b>	<b>2.344</b>	<b>2.389</b>	<b>4.85</b>	<b>16.75</b>	<b>71.05</b>	<b>3.47</b>	<b>1339</b>	<b>3858.4</b>
5.50	1210.9	1211.3	668.2	543.1	2.230	2.329	2.373	4.27	17.22	75.21	3.68	1625	4411.4
	1211.7	1212.9	669.1	543.8	2.228	2.329	2.373	4.33	17.27	74.94	3.56	1660	4668.3
	1199.8	1201.1	662.2	538.9	2.226	2.329	2.373	4.41	17.33	74.58	3.81	1783	4679.3
<b>PROMEDIO</b>					<b>2.228</b>	<b>2.329</b>	<b>2.373</b>	<b>4.33</b>	<b>17.27</b>	<b>74.91</b>	<b>3.68</b>	<b>1689</b>	<b>4586.3</b>
6.00	1210.2	1211.9	674.9	537.0	2.254	2.308	2.356	2.36	16.77	85.95	4.06	1631	4013.8
	1198.3	1199.2	668.7	530.5	2.259	2.308	2.356	2.13	16.57	87.14	4.06	1627	4003.9
	1207.3	1208.2	675.9	532.3	2.268	2.308	2.356	1.73	16.23	89.34	4.06	1668	4105.5
<b>PROMEDIO</b>					<b>2.260</b>	<b>2.308</b>	<b>2.356</b>	<b>2.07</b>	<b>16.52</b>	<b>87.48</b>	<b>4.06</b>	<b>1642</b>	<b>4041.1</b>
6.50	1201.1	1202.3	668.1	534.2	2.248	2.280	2.340	1.39	17.40	92.04	4.19	1622	3871.2
	1197.3	1198.5	666.2	532.3	2.249	2.280	2.340	1.35	17.37	92.25	4.06	1618	3980.3
	1202.7	1202.8	668.0	534.8	2.249	2.280	2.340	1.36	17.38	92.15	4.32	1579	3657.2
<b>PROMEDIO</b>					<b>2.249</b>	<b>2.280</b>	<b>2.340</b>	<b>1.37</b>	<b>17.38</b>	<b>92.14</b>	<b>4.19</b>	<b>1606</b>	<b>3836.2</b>

4.1.2.2. *Diseño y Ensayos de Mezcla Asfáltica en Caliente con Incorporación de Polvo de Caucho*

Como se indicó en la parte teórica de la presente investigación, la incorporación de polvo de caucho a la mezcla asfáltica en caliente (MAC) convencional o patrón para la ciudad de Cajamarca fue proporcional con respecto al peso del agregado fino. Dicha adición a la mezcla fue mediante el método de vía seca.

La incorporación de polvo de caucho fue realizada en las siguientes proporciones: 1.5 %, 3.0 %, 5.0 % y 10%, teniendo en cuenta que, cuando se deseó realizar la fabricación de las briquetas con un contenido de 10% de polvo de caucho, se presentaron problemas durante su compactación, por lo cual se descartó continuar con su elaboración por no cumplir con una de las características que debe poseer una mezcla asfáltica en caliente: trabajabilidad y compacidad.

A continuación, se presentan la tabla N° 07 con los resultados obtenidos de los ensayos realizados:

**Tabla N° 07**

*Resultados Marshall Promedio con Incorporación de polvo de Caucho*

<b>CARACTERIZACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA CON 1.5 %, 3% Y 5% DE CAUCHO</b>					
<b>NÚMERO DE GOLPES</b>	<b>75</b>			<b>COMPROBACIÓN DISEÑO PATRÓN</b>	<b>ESPEC.</b>
<b>% De RAP</b>	<b>1.5</b>	<b>3.0</b>	<b>5.0</b>		
CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO OBTENIDO, %	5.5	5.5	5.5	5.5	±0.2
PESO ESPECÍFICO, G/CM <sup>3</sup>	<b>2.232</b>	<b>2.186</b>	<b>2.129</b>	<b>2.245</b>	
ESTABILIDAD, KN.	14.0	15.4	12.4	13.3	8.14 mín.
ESTABILIDAD, KGF	1522.4	1743.4	1453.8	1415.7	830 mín.
FLUJO, (0.01PULG.)	14.3	16.0	19.3	14.0	8 - 14 (0.01 pulg.)
VACÍOS DE AIRE, %	4.6	10.2	14.1	3.6	3% - 5 %
V.M.A, %	17.1	18.8	20.9	16.6	14 mín.

V.LL.CA., %	73.2	45.7	32.4	78.4	-
ESTABILIDAD / FLUJO (KG/CM)	3,949.0	3,874.7	2,576.3	3,822.0	1700 - 4000 (kg/cm)
TEMPERATURA MÁXIMA MEZCLA, °C	175	175	175	150	149 - 154 °C (Diseño Patrón) 170 - 180 °C (Diseño Mezcla Con Caucho)
RELACIÓN POLVO / ASFALTO EFECTIVO	0.5	0.5	0.5	0.5	1.3
RECUBRIMIENTO, %	100.0	100.0	100.0	100.0	100%
DESPRENDIMIENTO, % RETENIDO	+ 95.0	+ 95.0	+ 95.0	+ 95.0	+ 95.0

*Nota.* Los testigos para el ensayo Marshall fueron elaborados con el óptimo contenido de cemento asfáltico 5.5% y a la combinación de agregados se le hizo el reajuste para adicionar porcentajes de CAUCHO de 1.5%, 3% y 5% como componente de la MAC.

De acuerdo a las indicaciones de inclusión de polvo de caucho a una mezcla asfáltica caliente (Capítulo III, ítem 3.7.2.2.) de este estudio, la temperatura debe ser superior a una mezcla convencional, de acuerdo a ello se elaboró la siguiente tabla N° 08:

**Tabla N° 08**

*Temperatura de Aplicación del CAP PEN 60/70*

AGREGADOS - PÉTREOS - CAUCHO	170 °C
TIEMPO Y TEMPERATURA DE DIGESTIÓN	2 horas / 175 °C
BITUMEN - CAP PEN 60/70	154 °C

*Nota.* El tiempo de digestión es mayor que a una mezcla convencional, esto de acuerdo a las recomendaciones que nos brinda Gallego Medina en su Guía para la fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas con polvo de neumático “ (2017).

Los resultados en resumen se presentan en la siguiente tabla N° 09 de los ensayos Marshal tanto de la mezcla asfáltica patrón y la incorporación de Caucho:

**Tabla N° 09**

*Resultados Ensayos Marshall de Mezcla Patrón e incorporación de polvo de Caucho*

DESCRIPCIÓN													
--	% DE CAUCHO	1.5			3.0			5.0			COMPROBACIÓN DISEÑO PATRÓN		
--	% CEMENTO ASFÁLTICO ADICIONADO SEGÚN DISEÑO PATRÓN	5.5			5.5			5.5			5.5		
--	N° DE BRIQUETAS	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	% CEMENTO ASFÁLTICO OBTENIDO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.5			5.5			5.5			5.5		
2	% AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	43.9			43.5			43.1			44.2		
3	% AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	50.6			51.0			51.4			50.3		
4	% FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.0			0.0			0.0			0.0		
5	PESO ESPECÍFICO CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE, G/CM³	1.0272			1.0272			1.0272			1.0272		

6	PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO-BULK ( < 1"), G/CM <sup>3</sup>	2.524				2.524			2.524			2.524	
7	PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO - BULK, G/CM <sup>3</sup>	2.563				2.563			2.563			2.563	
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE, G/CM <sup>3</sup>	0.000				0.000			0.000			0.000	
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA, CM.	6.7	6.9	6.6	6.6	6.8	6.5	6.7	6.6	6.9	6.7	6.6	6.8
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE, G.	<b>1,199.8</b>	<b>1,201.8</b>	<b>1,190.6</b>	<b>1,203.9</b>	<b>1,194.6</b>	<b>1,201.8</b>	<b>1,194.1</b>	<b>1,189.3</b>	<b>1,196.3</b>	<b>1,194.8</b>	<b>1,190.8</b>	<b>1,200.5</b>
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA EN EL AIRE, G.	<b>1,201.1</b>	<b>1,202.3</b>	<b>1,191.9</b>	<b>1,207.9</b>	<b>1,197.3</b>	<b>1,203.2</b>	<b>1,195.8</b>	<b>1,191.0</b>	<b>1,198.1</b>	<b>1,195.1</b>	<b>1,191.2</b>	<b>1,201.2</b>
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA EN EL AGUA, G.	<b>662.8</b>	<b>664.1</b>	<b>659.1</b>	<b>657.5</b>	<b>651.1</b>	<b>652.8</b>	<b>634.8</b>	<b>633.5</b>	<b>634.8</b>	<b>663.2</b>	<b>661.3</b>	<b>665.9</b>
13	VOLUMEN DE LA BRIQUETA, CM. <sup>3</sup>	538.3	538.2	532.8	550.4	546.2	550.4	561.0	557.5	563.3	531.9	529.9	535.3
14	PESO DE LA PARAFINA, G.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	VOLUMEN PARAFINA, CM. <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	VOLUMEN DE LA BRIQUETA, CM. <sup>3</sup>	538.3	538.2	532.8	550.4	546.2	550.4	561.0	557.5	563.3	531.9	529.9	535.3

17	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA, G/CM³	2.229	2.233	2.235	2.187	2.187	2.184	2.129	2.133	2.124	2.246	2.247	2.243
18	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041, G/CM³		2.340			2.435			2.479			2.329	
19	PORCENTAJE DE VACÍOS AIRE, %	4.7	4.6	4.5	10.2	10.2	10.3	14.1	14.0	14.3	3.6	3.5	3.7
20	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL, G/CM³		2.545			2.545			2.545			2.545	
21	VOLUMEN MINERAL AGREGADO, %	17.2	17.1	17.0	18.8	18.8	18.9	20.9	20.8	21.1	16.6	16.6	16.7
22	VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO, %	72.5	73.3	73.6	45.8	45.8	45.4	32.4	32.8	32.1	78.5	78.7	77.8
23	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO AGREGADO TOTAL, G/CM³		2.545			2.545			2.545			2.545	
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO, %		5.50			5.50			5.50			5.50	
25	FLUJO (0.01 PULGADA)	14.0	14.2	14.6	16.0	16.0	16.0	20.0	18.0	20.0	14.0	14.0	14.0
26	FLUJO (0.25 MILÍMETROS)	3.6	3.6	3.7	4.1	4.1	4.1	5.1	4.6	5.1	3.6	3.6	3.6
27	ESTABILIDAD SIN CORREGIR, LECTURAS.	310.0	320.0	315.0	380.0	360.0	350.0	300.0	280.0	320.0	290.0	300.0	285.0
28	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.93	0.93	0.96	0.89	0.93	0.89	0.86	0.89	0.86	0.96	0.96	0.96

29	ESTABILIDAD CORREGIDA, KN.	13.7	14.1	14.3	15.9	15.8	14.7	12.3	11.9	13.0	13.3	13.7	13.0
30	RELACIÓN ESTABILIDAD/F LUJO (KG/CM)	3,922.0	3,984.0	3,941.0	3,985.0	3,955.0	3,684.0	2,461.0	2,652.0	2,616.0	3,801.0	3,925.0	3,740.0

*Nota.* Las briquetas para el ensayo Marshall fueron elaborados con el óptimo contenido de cemento asfáltico 5.5% y a la combinación de agregados se le hizo el reajuste para adicionar porcentajes de CAUCHO de 1.5%, 3% y 5% como componente de la MAC.

Los resultados a detalle se muestran en el **Anexo I**.

#### 4.1.2.3. Resultados de los Ensayos Cántabro

La tabla N° 10, resume los resultados obtenidos del ensayo Cántabro, tanto a la mezcla patrón y a las diferentes mezclas con contenido de polvo de caucho:

**Tabla N° 10**

*Resultados ensayos cántabro con agregados de mezcla patrón e incorporación de polvo de caucho*

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	% DE CAUCHO			PATRÓN
			1.5	3	5	
1	PESO ESPECÍFICO BULK DE LOS TESTIGOS/ BRIQUETAS	g/cm <sup>3</sup>	2.237	2.185	2.130	2.247
2	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041	g/cm <sup>3</sup>	2.340	2.435	2.479	2.329
3	VACÍOS	%	4.42	10.28	14.07	3.53
<b>DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO CÁNTABRO</b>						
	<b>% DE DESGASTE</b>	<b>%</b>	<b>10.32</b>	<b>13.43</b>	<b>15.42</b>	<b>8.05</b>

*Nota.* Para la preparación de las briquetas para estos ensayos fueron realizados bajo la misma metodología que para los ensayos Marshall, teniendo en cuenta la temperatura y recomendaciones en que se basa esta investigación.

Los resultados a detalle de los Ensayos Cántabro se muestran en el **Anexo J.**

#### 4.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Realizados los ensayos a los agregados grueso y fino para conocer sus propiedades físicas y mecánicas, se procedió a diseñar a través de Marshall y con el control de calidad adecuados, una MAC convencional óptima (llamada también en esta investigación: mezcla asfáltica patrón) a la cual se procedió a incorporar por vía seca el polvo de caucho en proporciones de 1.5, 3.0, 5.0 y 10% como un agregado fino.

De la adición del polvo de caucho a la mezcla asfáltica caliente patrón se obtuvieron resultados, los cuales se analizaron y se comentan para dar a conocer si es factible su incorporación al mercado como una opción de mejora al comportamiento mismo del asfalto, el uso de caucho proveniente de

neumáticos fuera de uso (NFU) es viable para menguar este activo con el medio ambiente y si a corto plazo es ejecutable en los proyectos de asfaltado en las vías de nuestra provincia.

Los ensayos Cántabro, nos dieron más luces sobre el comportamiento de la mezcla asfáltica caliente patrón y su incorporación de caucho.

#### **4.2.1. Análisis de los Agregados Petreos**

De acuerdo a la tabla N° 03 “Resultados de los Ensayos de Laboratorio Control de Calidad del Agregado Grueso”, podemos concluir que los agregados son apropiados para su uso en la fabricación de una mezcla asfáltica en caliente.

Así mismo, en los ensayos realizados al agregado fino, se ha obtenido resultados esperados para su uso en esta investigación tal como se indica en la tabla N° 04 “Resultados de los Ensayos de Laboratorio Control de Calidad del Agregado Fino”.

#### **4.2.2. Análisis de Resultados Marshall de la Mezcla Asfáltica Caliente Patrón y Mezclas Asfálticas con incorporación de Caucho**

En resumen, los datos obtenidos de los ensayos Marshall son los que a continuación se presentan en la tabla N° 11, posterior a esta tabla, mediante gráficos comparativos se realiza el análisis de los resultados:

**Tabla N° 11**

*Resumen de los Resultados: Ensayos Marshall*

NÚMERO DE GOLPES		75			COMPROBACIÓN DISEÑO PATRÓN	DISEÑO PATRÓN	ESPEC.
% DE CAUCHO	1.5	3	5.0				
CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO OBTENIDO, %	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	±0.2
PESO ESPECÍFICO, G/CM <sup>3</sup>	<b>2.232</b>	<b>2.186</b>	<b>2.129</b>	<b>2.245</b>	<b>2.240</b>		--
ESTABILIDAD, KN.	14.0	15.4	12.4	13.3	15.8		8.14 Mín.
ESTABILIDAD, KG-F	1522.4	1743.4	1453.8	1415.7	1607.4		830 mín.
FLUJO, (0.01PULG.)	14.3	16.0	19.3	14.0	14.7		8 - 14 (0.01 pulg.)
VACÍOS DE AIRE, %	4.6	10.2	14.1	3.6	4.0		3% - 5 %
V.M.A, %	17.1	18.8	20.9	16.6	16.9		14 mín.
V.LL.CA., %	73.2	45.7	32.4	78.4	76.7		-
ESTABILIDAD / FLUJO (KG/CM)	3,949.0	3,874.7	2,576.3	3,822.0	3,818.5		1700 - 4000 (kg/cm)
TEMPERATURA MÁXIMA MEZCLA, °C	175	175	175	150	152		170 - 180 °C (*)
RELACIÓN POLVO 0.074/ASFALTO EFECTIVO	0.5	0.5	0.5	0.5	1.2		1.3
RECUBRIMIENTO, %	100	100	100	100	100		100%
DESPRENDIMIENTO, % RETENIDO	95	95	95	95	95		95

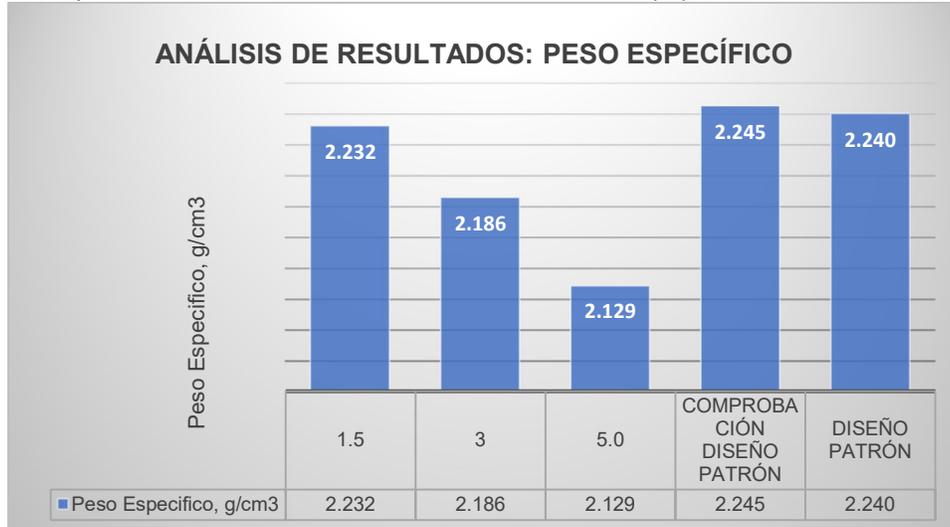
*Nota.* Esta tabla resume los resultados obtenidos de los Ensayos Marshall realizados a los especímenes.

Los ensayos Marshall realizados a cada contenido adicionado de polvo de caucho se muestran en el **anexo I**.

#### 4.2.2.1. *Peso Específico*

**Figura N° 09**

*Peso Específico: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%)*



#### **Interpretación de los resultados:**

La diferencia de peso específico entre el diseño patrón (teórico) y su comprobación es mínima, lo cual nos indica que se ha fabricado las briquetas (muestras) con la calidad y especificaciones requeridas.

Podemos observar que la mezcla asfáltica convencional/patrón de comprobación posee mayor peso específico que las mezclas con contenido de polvo de caucho. El peso específico es necesario para definir los vacíos en la mezcla, por lo tanto, podemos deducir que la inclusión de caucho genera que los espacios vacíos entre el aglomerado (agregados) y el cemento asfáltico sea mayor.

La diferencia entre la mezcla patrón y la mezclas con inclusión de caucho de 1.5, 3.0 y 5.0 % varía en ocho milésimas, cinco centésimas y una décima respectivamente.

De estos resultados observamos que la adición de caucho de 1.5% a la mezcla asfáltica caliente es la de mayor proximidad y más favorable en este parámetro al diseño patrón.

#### 4.2.2.2. Estabilidad

**Figura N° 10**

*Estabilidad: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%)*



#### **Interpretación de los resultados:**

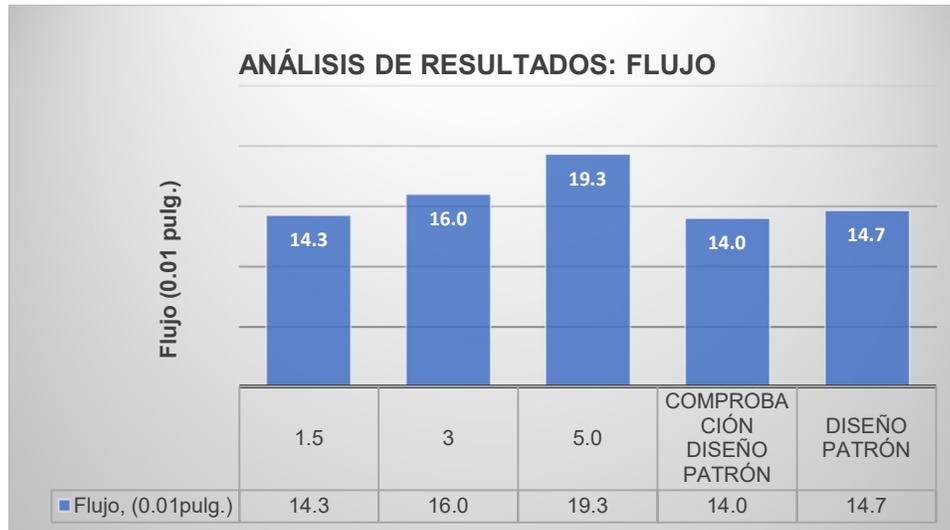
La estabilidad es la capacidad de la mezcla para resistir el desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. La estabilidad depende de la fricción y cohesión interna. La fricción interna se debe a propiedades de los agregados pétreos (forma y textura superficial), la cohesión la proporciona el ligante asfáltico. La cohesión aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta o a medida que la temperatura del pavimento disminuye (Institute, 2020).

En el gráfico de estabilidad observamos que todos los resultados cumplen con los parámetros establecidos (mínimo es 8.14 kN), con valores aceptables. Con la inclusión de 1.5 y 3.0% de polvo de caucho, se observa un aumento en la estabilidad en un 5 y 15% respectivamente con respecto a la mezcla patrón de comprobación. A la inclusión de 5.0 % de polvo de caucho es que se aprecia una disminución con respecto al diseño patrón de comprobación en un 7%.

#### 4.2.2.3. Flujo

**Figura N° 11**

*Flujo: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%)*



#### **Interpretación de los resultados:**

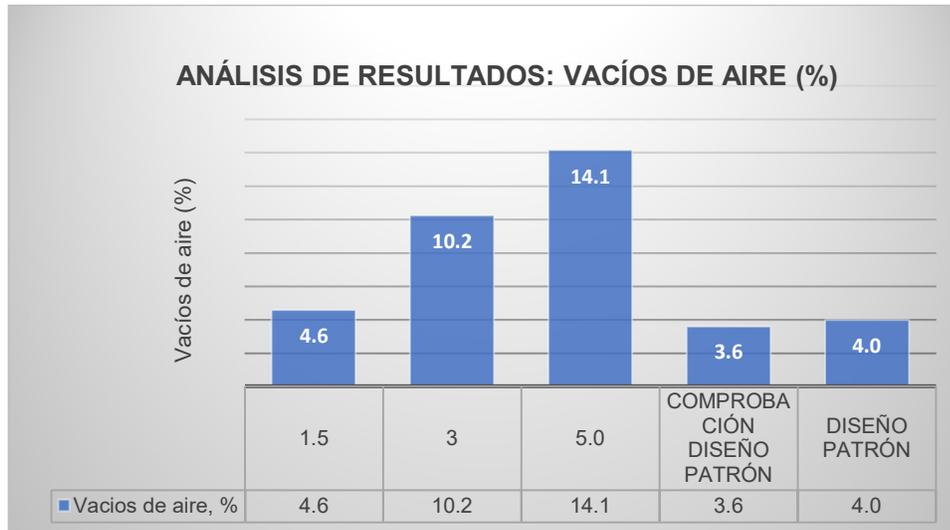
La fluencia Marshall, la cual es medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. Aquellas mezclas con valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas (Institute, 2020).

Las especificaciones Marshall, indican que el flujo debe estar comprendido entre 8-14 (0.01 pulg), del gráfico de resultados, el diseño patrón de comprobación se encuentra en el límite, los diseños con polvo de caucho están sobre los parámetros, solo el de 1.5% de contenido de caucho, es el más cercano al límite superior en un 2%.

#### 4.2.2.4. Vacíos de Aire

**Figura N° 12**

*Vacíos de aire: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%)*



#### **Interpretación de los resultados:**

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto (Institute, 2020).

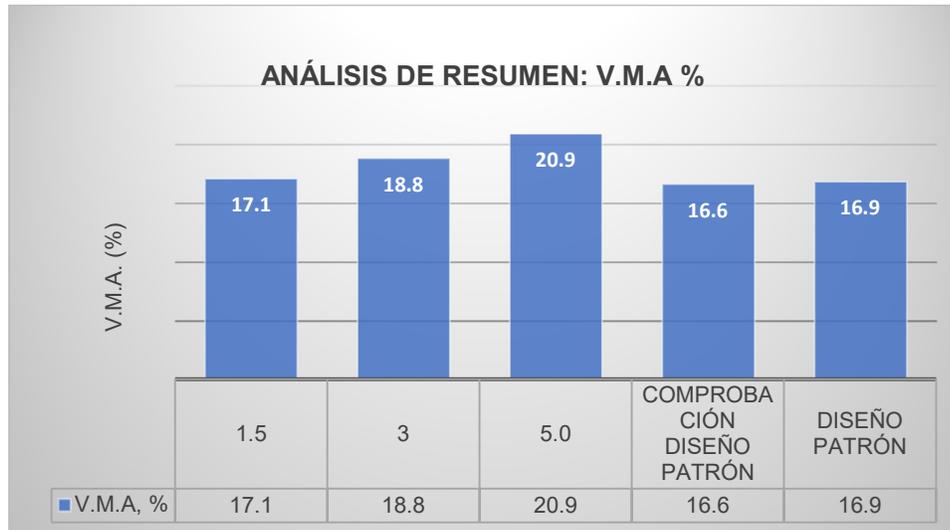
En el gráfico de vacío de aire, el diseño patrón de comprobación se encuentra dentro del rango Marshall (3% - 5%), los diseños con polvo de caucho están sobre el rango mencionado (3-5%). De los diseños con polvo de caucho, el diseño con 1.5% de polvo de caucho contiene un contenido aceptable no demasiado alejado del diseño patrón y de las especificaciones.

Los diseños con 3.0 y 5.0 % de contenido de polvo de caucho indican vacíos superiores al 10%.

#### 4.2.2.5. Vacíos del Agregado Mineral

**Figura N° 13**

*V.M.A.: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%)*



#### **Interpretación de los resultados:**

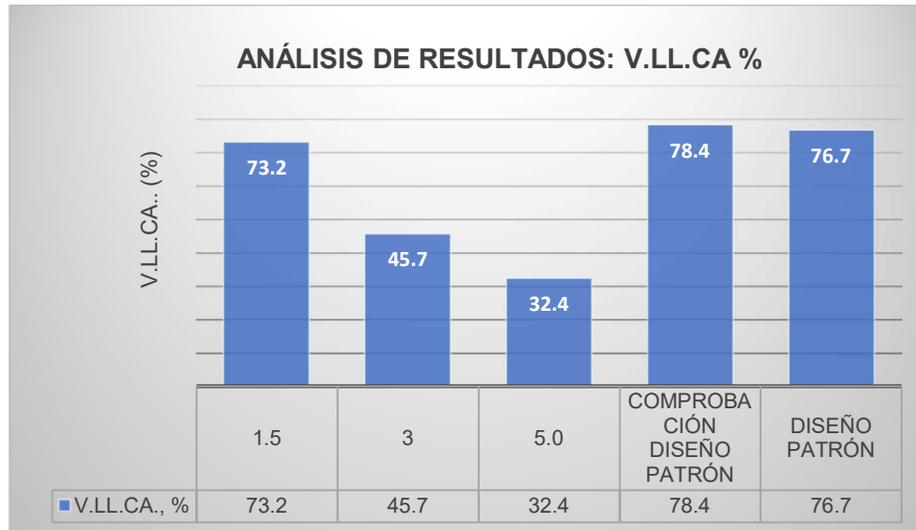
Los vacíos en el agregado mineral VMA, están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentran entre partículas del agregado de la mezcla compactada, estas están compuestas tanto de vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto (Institute, 2020).

En el gráfico de V.M.A observamos que todos los valores están sobre la especificación Marshall (14% mínimo). De los tres diseños que contienen polvo de caucho, el de 1.5% es el que más se aproxima al diseño patrón.

#### 4.2.2.6. Vacíos llenos de Asfalto

**Figura N° 14**

V.LL.CA.: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%)



#### **Interpretación de los resultados:**

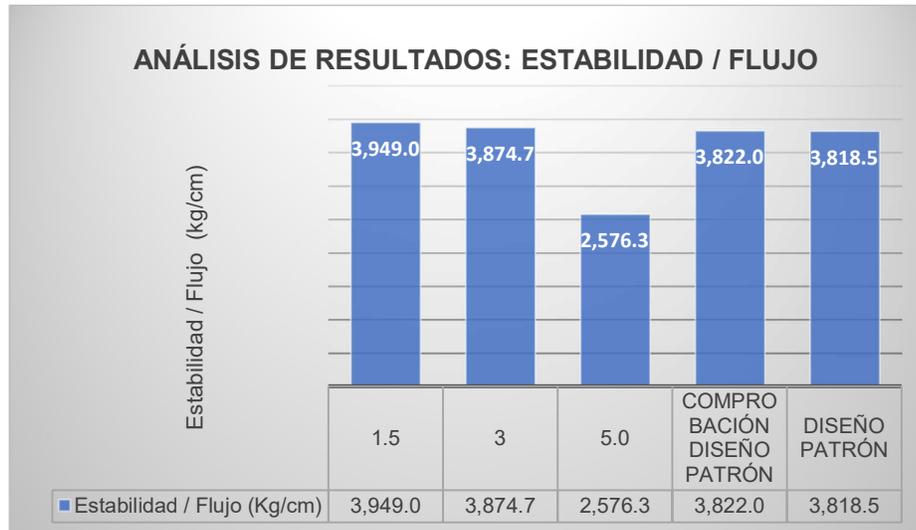
Los vacíos llenos de asfalto, son el porcentaje de vacíos granulares entre las partículas del agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto (Institute, 2020).

Del gráfico de V. LL.CA., la comprobación del diseño patrón es de 78.4%, reduciendo bastante los vacíos de aire. De los diseños con contenido de polvo de caucho, solo el diseño con 1.5% es quien tiene una cantidad aproximada al diseño patrón.

#### 4.2.2.7. Estabilidad / Flujo

**Figura N° 15**

*Estabilidad / Flujo (Kg/cm): Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%)*



#### **Interpretación de los resultados:**

Del gráfico de Estabilidad/flujo, todos los diseños están dentro de los parámetros Marshall (entre 1700 – 4000 kg/cm). Los diseños con 1.5% y 3.0 % de contenido de polvo de caucho son los más cercano y superiores al diseño patrón.

#### **4.2.3. Análisis de Resultados Ensayos Cántabro a las mezclas Asfálticas**

Para brindar un mejor concepto del comportamiento de una mezcla asfáltica caliente con la incorporación de caucho por vía seca, se procedió a realizar ensayos Cántabro y cuyos resultados son analizados en la figura N° 16, basada en la tabla N° 08 (Resultados ensayos cántabro con agregados de mezcla patrón e incorporación de polvo de caucho):

**Figura N° 16**

*Desgaste: Diseño Patrón VS Adición de Caucho (%)*



**Interpretación de los resultados:**

- Este valor nos permite valorar directamente la cohesión, trabazón y resistencia a la disgregación de la mezcla, todos los diseños examinados no superan el 25% de desgaste (MTC E 515). El desgaste del diseño patrón es de 8.05%, de los resultados de los diseños con incorporación de polvo de caucho, el de 1.5% es el de menor desgaste y se aproxima a la mezcla patrón.

**4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

De la evaluación de los resultados podemos concluir que los agregados pétreos provenientes de la Cantera Bazán utilizados para la presente investigación son aceptables para su combinación en la fabricación de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca (ver tablas N° 08 y 09). La mezcla asfáltica caliente convencional desarrollada como mezcla patrón cumple con los parámetros Marshall establecidos de acuerdo al diseño de esta investigación con un contenido óptimo de cemento asfáltico de 5.5 %, un peso específico de 2.245 gr/cm<sup>3</sup>, una estabilidad de 13.3 Kn, flujo de 14.0 (0.01 pulg), un Va de 3.6%, un VMA DE 16.9 %. La incorporación de caucho produjo

cambios en los caracteres volumétricos y mecánicos de la mezcla asfáltica caliente convencional, en el Capítulo V (5.1 Conclusiones) se detallan la influencia del polvo de caucho y si estos cambios son beneficiosos.

#### **4.4. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

De acuerdo al Instituto del Asfalto (2020), los caracteres de una mezcla no pueden ser determinados por resultados aislados, es decir, no solo podemos guiarnos por haber obtenido una aceptable estabilidad, o solo un flujo dentro de los parámetros establecidos (Marshall), se debe buscar el equilibrio entre estos dos caracteres mecánicos sin descuidar los caracteres volumétricos. por lo cual, de acuerdo a las indicaciones consultadas, podemos resumir que:

- A la inclusión de 1.5% de polvo de caucho en comparación con la mezcla patrón se resuelve: se obtiene una mejora en la estabilidad (aumento del 5%), un flujo, que, si bien es mayor a los parámetros Marshall (sobrepasa en 0.3% el límite superior), este aumento es debido a que el polvo de caucho ha brindado mayor elasticidad al cemento asfáltico y una mayor cohesividad entre agregados. Los vacíos de aire se mantienen dentro de los parámetros Marshall y además los vacíos llenos con cemento asfáltico cubren en buena proporción los vacíos totales de la mezcla (V.LL.C.A. de 73.2%). Por lo tanto, es viable su uso como mejorador de los caracteres de una mezcla asfáltica caliente convencional con uso de agregados de la Cantera Bazán y cemento asfáltico tipo 60/70.
- La inclusión de 3.0 % de polvo de caucho en comparación con la mezcla patrón nos demuestra que: la estabilidad se ve aumentada en un 15%, el flujo subió de 14 a 16 (0.01 pulg), superando el rango superior de las especificaciones Marshall, lo que probablemente convierta la mezcla de elástica a una mezcla plástica. El porcentaje de vacíos de aire es alto, afectando su durabilidad debido a la oxidación y degradación temprana.
- La inclusión de 5.0% de polvo de caucho en comparación a la mezcla asfáltica caliente patrón nos genera la siguiente información: baja estabilidad, flujo alto, vacíos de aire altos.

- Al diseño con inclusión de 10.0 % de polvo de caucho no pudo realizarse ensayos Marshall, debido a que, en la elaboración de las briquetas, estas no podían ser compactadas de acuerdo a las especificaciones aplicadas al resto de especímenes de la investigación, por lo cual quedó relegado.

En síntesis, de las proporciones adicionadas de polvo de caucho, la de 1.5% influencio de manera positiva en los caracteres mecánicos de una mezcla asfáltica caliente para Cajamarca.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

La influencia de la incorporación del polvo de caucho a una mezcla asfáltica en caliente convencional a través de los ensayos realizados (Marshall), son:

- El polvo de caucho al ser “digerido” o disuelto en la mezcla, altera la viscosidad del cemento asfáltico, aumentando su elasticidad. Conforme se aumentó el contenido de polvo de caucho, el flujo y estabilidad aumento (con los contenidos de 1.5 y 3.0 %), mayor al 3 % de polvo de caucho la estabilidad cae y flujo aumenta, por tal razón, la mezcla es más susceptible a deformaciones. Con respecto a los vacíos de aire, con la inclusión de polvo de caucho los vacíos aumentan, siendo la mezcla con 1.5% de polvo de caucho la de menor contenido y dentro de los parámetros Marshall (4.6%). Los vacíos del agregado mineral (VMA) aumentan conforme aumenta el contenido de polvo de caucho, los resultados de VMA superan las especificaciones Marshall (14 % mínimo). El parámetro: estabilidad/flujo de las mezclas con polvo de caucho están dentro del rango de las especificaciones Marshall (1700-4000 kg7cm).
- A través de los análisis realizados a los agregados de la Cantera Bazán, sus caracteres nos indican que estos son aceptables para su uso en el diseño de una mezcla asfáltica convencional para la ciudad de Cajamarca.
- La mezcla asfáltica en caliente convencional (patrón) de acuerdo a los resultados obtenidos a los ensayos volumétricos y mecánicos Marshall definimos que la mezcla es aceptable y utilizable. Sus resultados, en síntesis: un contenido óptimo de cemento asfaltico de 5.5 %, una

estabilidad de 15.76 kn, un peso específico de 2.24 gr/cm<sup>3</sup>, flujo de 14.0 y 3.6 % de vacíos de aire.

- Se desarrollo un procedimiento de diseño y fabricación para la incorporación de polvo de caucho en una mezcla asfáltica en caliente, el cual se basó en los lineamientos de los ensayos Marshall. Para la incorporación de caucho a la mezcla asfáltica por vía seca se tuvieron que tener ciertos parámetros para el tratamiento de este material: el aumento de temperatura en el mezclado (entre los 170 y 175° C) y del tiempo no menor a dos horas de que debe permanecer la mezcla a esta temperatura para así obtener la digestión del polvo de caucho y este se disuelva parcialmente en el cemento asfáltico. La descripción de la incorporación del polvo de caucho a la mezcla parón se detalla en el Capítulo III, ítem 3.8.2. Preparación de briquetas patrón y briquetas con incorporación de caucho.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- La inclusión de polvo de caucho (1.5 y 3.0 %) a una mezcla asfáltica en caliente donde se ha obtenido que algunos caracteres son aceptables y superiores a la mezcla patrón pero que otros caracteres están fuera de las especificaciones Marshall, es que se recomienda realizar más investigaciones a la incorporación de polvo de caucho en las proporciones estudiadas, pero, realizando reajustes tanto en el contenido de cemento asfáltico, inclusión de finos o fillers para reducir los vacíos de aire, disminuir el flujo y a la vez mantener una estabilidad aceptable.

## REFERENCIAS

- Acosta Lozada, R. I., & Vega Zurita, D. S. (2017). *Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico*. Ecuador. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25264>
- Aliaga Bravo, Y. M. (2017). *Aplicación del caucho reciclado para la mejora de las propiedades de la carpeta asfáltica en pavimentación de la Av. Bertello, Santa Rosa, Lima 2017*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/21730>
- Farfán Canchis, J. P., & Romero Dextre, Z. M. (2019). *Propiedades Mecánicas del Asfalto en caliente adicionando 1.5% de Caucho*. CHIMBOTE. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/45919>
- Gallego Medina, J., & Saiz Rodríguez, L. (2017). *Guía para la fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas con polvo neumático*. Madrid: SIGNUS Ecovalor.
- Gallego Medina, J., & Saiz Rodríguez, L. (2017). *SIGNUS.ES*. Recuperado el AGOSTO de 2022, de [info@signus.es](mailto:info@signus.es).
- Goicochea Fernandez, F. (2017). *Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas – 2017*. CHACHAPOYAS. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14077/1627>
- INEI. (OCTUBRE de 2018). <https://www.inei.gob.pe/>. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1558/06TOMO\\_01.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1558/06TOMO_01.pdf)
- Institute, A. (2020). *Construction of Quality Asphalt Pavements*. Lexinton, Kentucky, Estados Unidos.
- Instituto de Asfalto. (2022). *asphaltinstitute.org*. Recuperado el junio de 2023, de <https://www.asphaltinstitute.org/engineering/glossary-of-terms/>
- Magallanes Reyes, C. A., & Guillén Solari, I. C. (2015). *Experiencias en el Tratamiento de Neumáticos Fuera de Uso en Iberoamérica*. Lima: Área de Servicios de Investigación - Congreso de la República. Obtenido de [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/8825141B](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/8825141B)

7F35F94F0525810C0070DA35/\$FILE/275\_INFINVES61\_2014\_neumat  
ico.pdf

Menéndez Acurio, J. R. (2012). *Ingeniería de Pavimentos, Materiales, Diseño y Construcción*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia, Fondo Editorial.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Lima: Fondo Editorial.

Moisés Ríos, B. W., Anjo Bedriñana, J. H., Palomino Vargas, V. A., & Feria Macizo, E. E. (2019). *Diseño del proyecto de Investigación científica* (2 ed.). Lima, Perú: San Marcos.

Montejo Fonseca, A. (2006). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, Ediciones y Publicaciones.

Morea, F. (2011). *Deformaciones Permanentes en Mezclas Asfálticas*. La Plata.

MTC. (2016). Caracterización de las Mezclas Bituminosas Abiertas por Medio del Ensayo Cántabro de Pérdida por Desgaste. En *Manual de Ensayo de Materiales* (pág. 644). Lima.

MTC. (2016). *Manual de Ensayos de Materiales*. Lima.

Navarro Dupre, N. M. (2013). *Confeción y seguimiento de tramos de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho nacional de neumáticos fuera de uso (NFU) mediante vía seca*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115523>

PBA, L. C.-C. (2022). 1° Encuentro Iberoamericano de NFU en Mezclas Asfálticas. En G. Botasso (Ed.), <https://www.youtube.com/playlist?list=PLDCCj1xjlutmh5SSnFSglkc62zFUI0v0V>, (pág. <https://www.youtube.com/playlist?list=PLDCCj1xjlutmh5SSnFSglkc62zFUI0v0V>). La PLata.

Petroperú. (2022). <https://asfaltos.petroperu.com.pe/descripcion-asfaltos.php>.

Rodrigo, M. R., & Edmundo, P. J. (1994). *Metodología para la caracterización de ligantes asfálticos mediante el empleo del Ensayo Cantabro*. Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2022). *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. Bogota, Colombia: ECOE Ediciones.

Recuperado el mayo de 2023

Senamhi. (2020). <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=mapa-climatico-del-peru>.

Senamhi. (20 de noviembre de 2022). <https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>.

Senamhi, S. N. (agosto de 2021). <https://www.senamhi.gob.pe/>. (R. A. S.A.C., Ed.) Recuperado el mayo de 2023

## APÉNDICE

## Apéndice A. Tablas

### Apéndice A 1

#### *Requisitos para mezcla de concreto bituminoso*

PARÁMETROS DE DISEÑO	CLASE DE MEZCLA		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E 504</b>			
Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
Estabilidad (mínimo)	8.15 KN	5.44 KN	4.53 KN
Flujo 0.01* (0.25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla N° 06		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
Resistencia a la compresión Mpa mín.	2.1 75	2.1 75	1.4 75
Resistencia retenida % (mín.)			
Relación Polvo – Asfalto	0.6 – 1.3	0.6 – 1.3	0.6 – 1.3
Relación Estabilidad/ flujo (Kg/cm)	1700 - 4000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 mín.		

*Nota.* tabla adaptada en la tabla 423-06 (Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

## Apéndice A 2

Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)

TAMIZ	VACÍOS MÍNIMOS EN EL AGREGADO MINERAL %
	MARSHALL
2,36 mm (N° 8)	21
4,75 mm (N° 4)	18
9,50 mm (3/8")	16
12,5 mm (1/2")	15
19,0 mm (3/4")	14
25,0 mm (1")	13
37,5 mm (1 1/2")	12
50,0 mm (2")	11,5

*Nota.* tabla adaptada en la tabla 423-08 (Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

## Apéndice A 3

Tipo de Cemento Asfáltico según Penetración

CEMENTO ASFÁLTICO	TEMPERATURA MEDIA ANUAL 24° C – 15° C
Tipo CAP PEN	60 - 70

*Nota.* Tabla adaptada de la tabla 415-01, del Manual de Carreteras, Especificaciones técnicas generales para la construcción (2013)

## Apéndice A 4

### Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Penetración

CARACTERÍSTICAS	ENSAYO	GRADO DE PENETRACIÓN	
		60 - 70	
		MÍN.	MÁX.
Penetración 25°C, 100 g, 5s, 0.1 mm	MTC E 304	60	70
Punto de inflamación COC °C	MTC E 312	232	--
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100	--
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	MTC E 302	99	--
Susceptibilidad térmica, ensayo de película delgada en horno, 3.2 mm, 163°C, 5 hrs.	MTC E 316		
- Pérdida de masa, %		--	0.8
- Penetración del residuo, % de la penetración original	MTC E 304	52	--
Ductilidad del residuo, 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	50	--
Índice de Susceptibilidad Térmica		-1.0	+1.0
Ensayo de la Mancha con solvente Heptano - Xileno 20% (opcional)	MTC E 314	Negativo	

*Nota.* Tabla basada de la tabla 415-2, pag. 223 (Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

## Apéndice A 5

### Requerimientos para los Agregados Gruesos

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (MSNM)	
		≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+ 95	+ 95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción*	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.

\*Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

*Nota 1.* Tabla adaptada de la tabla 423-01 (Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

*Nota 2.* La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la subsección 430.02.

*Nota 3.* La notación "85/50" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

## Apéndice A 6

### Requerimientos para los Agregados Finos

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (MSNM)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 min.	35 min.
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción **	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

\*\* Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

*Nota 1.* Tabla adaptada en la tabla 423-02 (Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

*Nota 2.* La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, subsección 430.02.

## Apéndice A 7

### Gradaciones especificadas de la ASTM D 3515

TAMIZ	ABERTURA	ASTM	
		ASTM D 3515	
1 1/2"	4.760	--	--
1"	2.360	--	--
3/4"	2.000	100	100
1/2"	1.180	90	100
3/8"	0.600	--	--
N°4	0.420	44	74
N°8	0.300	28	58
N°10	0.177	--	--
N°16	0.150	--	--
N° 30	0.075	--	--
N° 40	0.000	--	--
N° 50	0.000	5	21
N° 80	0.000	--	--
N° 100	0.000	--	--
N° 200	0.000	2	10

*Nota.* Tabla adaptada en la publicación de la ASTM D 3515-1 (<https://www.astm.org/d3515-01.html>)

## Apéndice B. Figuras

### Apéndice B 1

*Toma de muestras - Agregado grueso (pasante 3/4")*



### Apéndice B 2

*Toma de muestras - Cantera Bazán, Cajamarca*



### Apéndice B 3

Visita técnica laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos, INTECPAV - 01



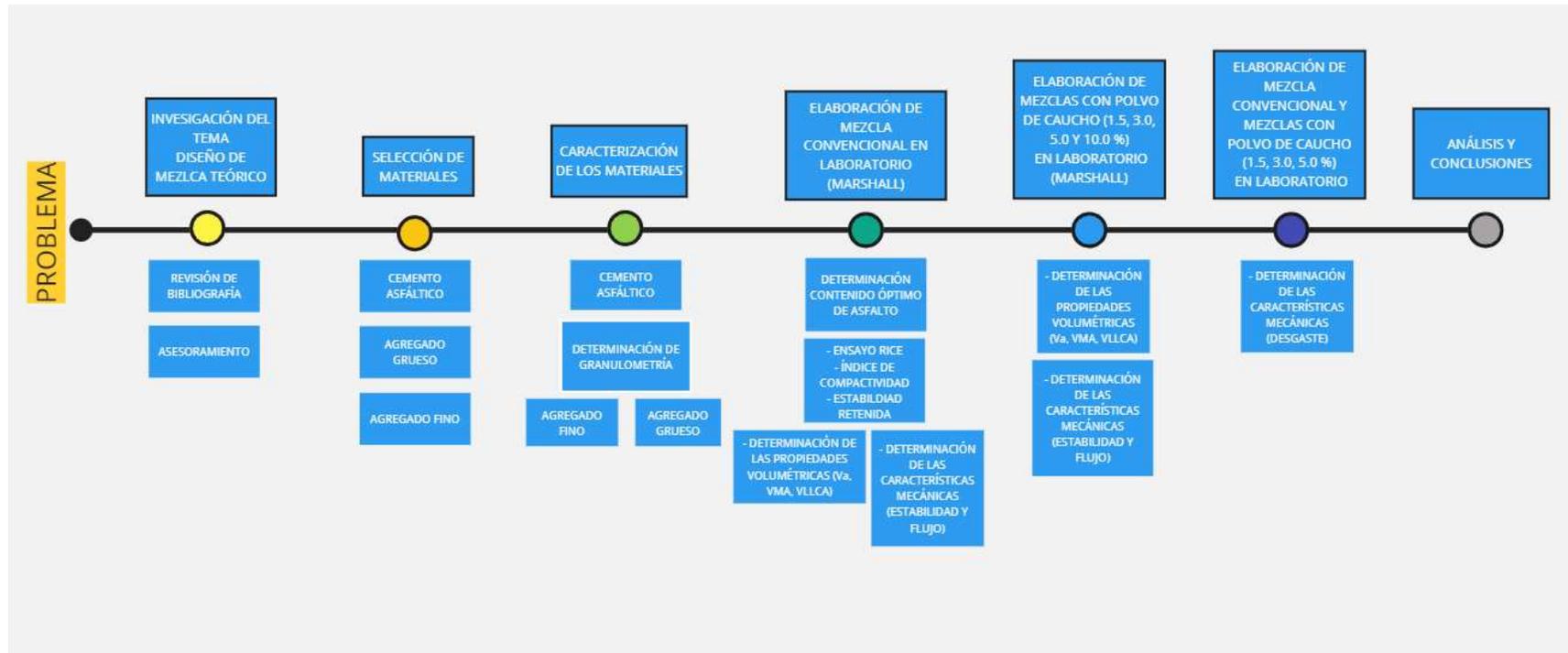
### Apéndice B 4

Visita técnica laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos, INTECPAV - 02



## Apéndice B 5

### Diagrama de la Metodología Experimental



## ANEXOS

## Anexo A. Tablas

### Anexo A 1

Temperatura media mensual, Periodo: 2010 - 2022

#### MAP. AUGUSTO WEBERBAUER

UBICACIÓN POLÍTICA:  
 DEPARTAMENTO CAJAMARCA  
 PROVINCIA CAJAMARCA  
 DISTRITO CAJAMARCA

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:  
 LATITUD : 07° 10' 03" Sur  
 LONGITUD : 78° 29' 35" Oeste  
 ALTITUD : 2673 m.

#### TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

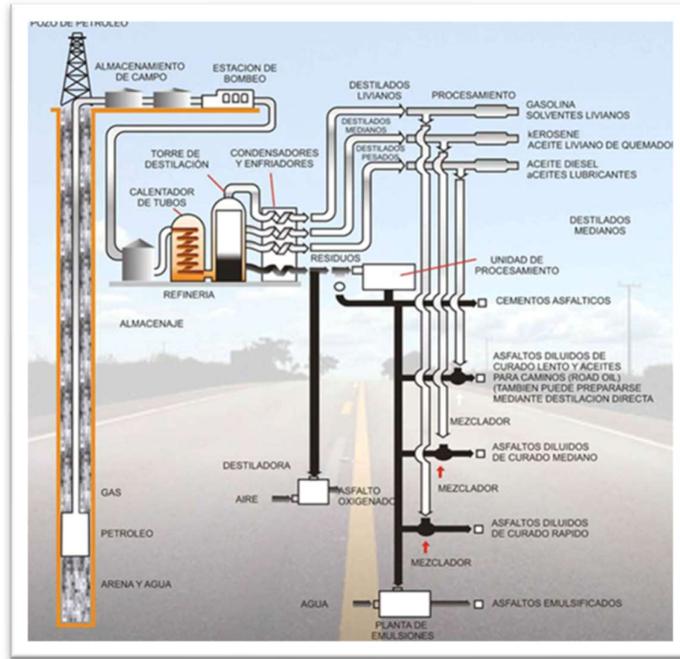
AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2010	15.6	16.0	15.8	15.7	15.0	14.0	14.1	14.0	14.7	14.8	14.5	14.5
2011	14.7	14.2	13.9	14.4	14.4	14.2	13.9	14.4	14.2	14.3	15.3	14.9
2012	14.8	14.4	15.0	14.7	14.4	13.6	13.8	14.2	14.7	14.9	15.4	15.3
2013	15.8	15.2	15.1	15.2	14.9	13.7	13.4	14.3	15.0	15.1	S/D	15.4
2014	15.1	15.6	15.1	15.1	14.9	14.2	14.5	14.3	14.9	15.4	15.5	15.9
2015	15.2	15.3	15.2	15.3	15.2	14.7	14.4	14.9	15.9	16.2	15.7	16.5
2016	16.5	16.5	16.3	15.7	15.7	14.6	14.1	15.2	15.6	15.8	15.9	15.6
2017	15.3	15.1	14.9	15.3	14.9	14.4	14.1	14.5	15.4	15.8	15.7	15.3
2018	14.9	15.2	15.1	14.7	14.5	13.9	14.3	14.9	15.1	15.2	15.4	15.2
2019	15.8	16.0	15.7	15.3	15.0	15.0	14.0	14.6	15.3	15.1	15.6	S/D
2020	15.9	16.4	16.5	S/D	S/D	S/D	14.4	15.0	15.1	15.6	15.6	14.7
2021	14.9	15.3	14.2	15.2	14.8	14.2	13.9	14.4	15.2	15.5	15.6	15.8
2022	14.9	14.6	14.8	14.8	14.5	13.8	14.4	14.3	14.7	15.3	16.1	15.6

NOTA: S/D SIGNIFICA SIN DATO

## Anexo B. Figuras

### Anexo B 1

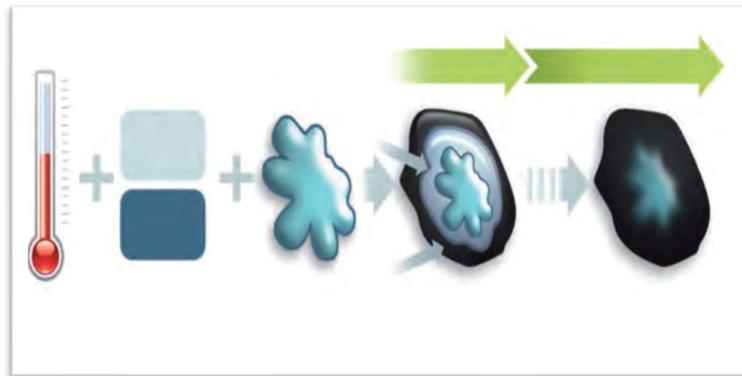
#### Diagrama de flujo de asfaltos derivados del petróleo



Nota. Imagen extraída de la página web de Petroperú (2022)

### Anexo B 2

#### Interacción betún-caucho



Nota. Adaptado de la Guía para la fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas con polvo de neumático (Gallego Medina & Saiz Rodríguez, 2017)

### Anexo B 3

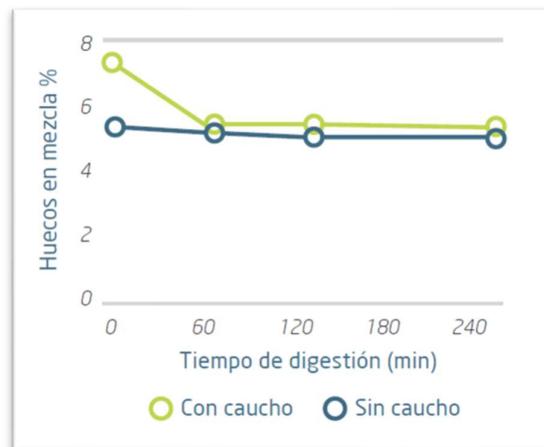
#### Principales formas de fabricación de mezclas asfálticas con polvo de caucho



*Nota.* Adaptado de Principales formas de fabricación de mezclas bituminosas, 1er Encuentro Iberoamericano de NFU en mezclas asfálticas (PBA, 2022)

### Anexo B 4

#### Evolución de la compactibilidad entre mezclas con y sin caucho



*Nota.* Figura adaptada de la Guía para la fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas con polvo de neumático (Gallego Medina & Saiz Rodríguez, 2017, pág. 23)



## Anexo B 7

Proceso de molienda de neumáticos para el aprovechamiento del caucho



Nota. Adaptado de proceso de obtención de caucho triturado, 1er Encuentro Iberoamericano de NFU en mezclas asfálticas (PBA, 2022)

## Anexo B 8

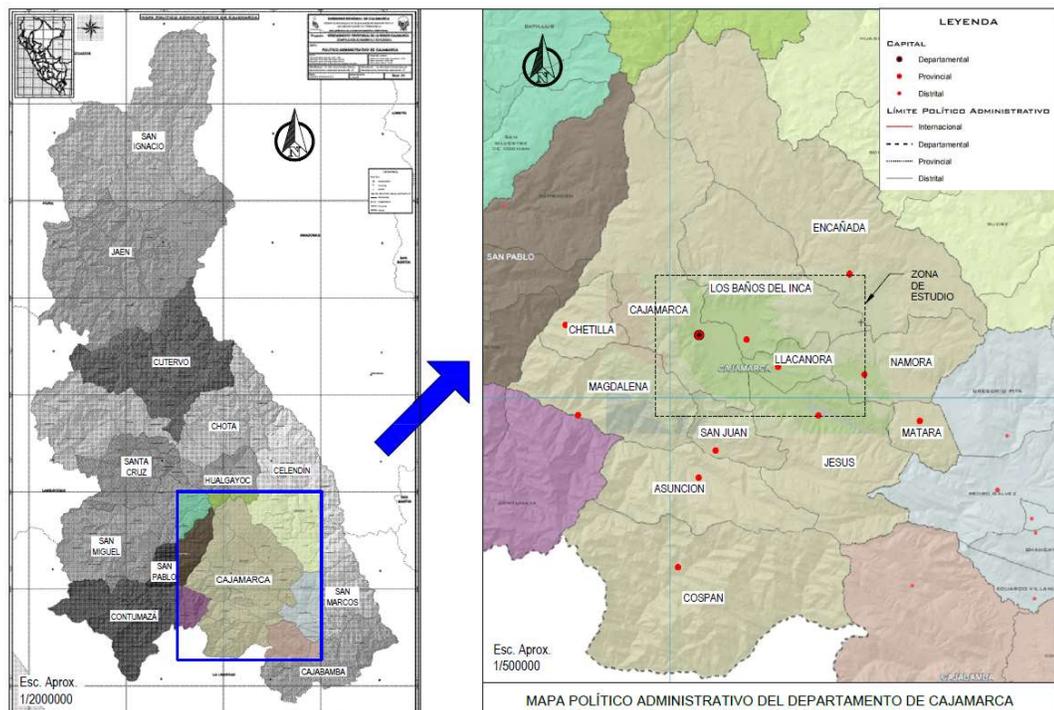
Polvo de caucho - diferentes granulometrías



Nota. Adaptado de partículas con tamaño máximo nominal menores a 0.5 mm, 1er Encuentro Iberoamericano de NFU en mezclas asfálticas (PBA, 2022)

## Anexo B 9

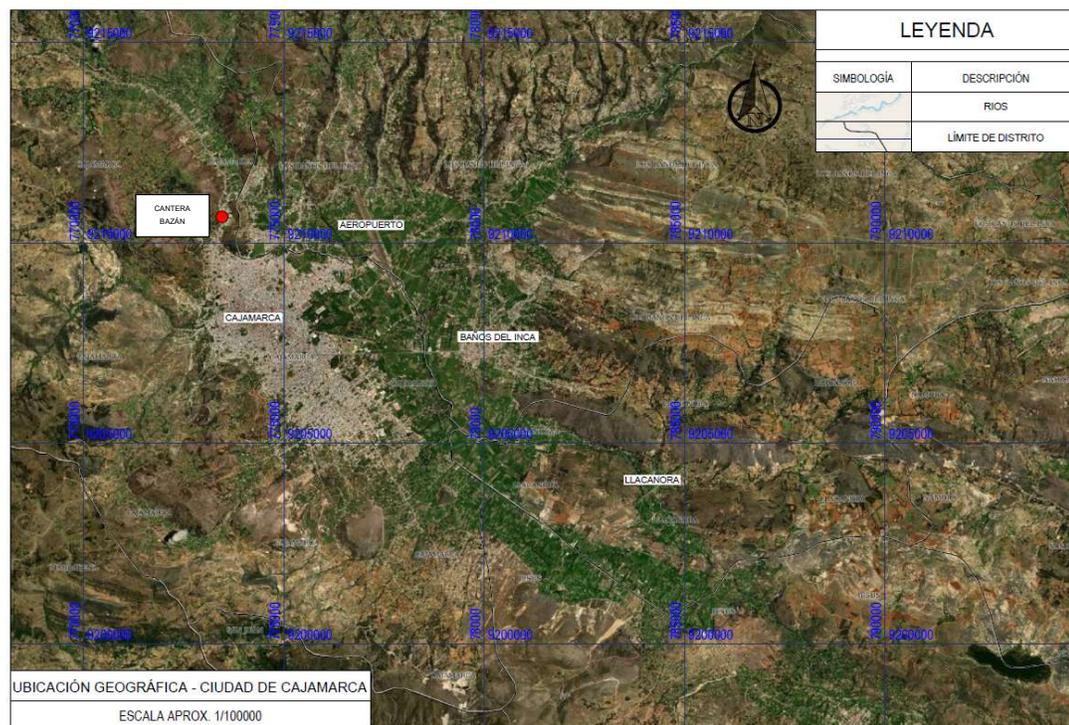
### Mapa Político Administrativo del Departamento de Cajamarca



*Nota.* Adaptado de la página del Gobierno Regional de Cajamarca [Mapa Político Administrativo de Cajamarca] ([https://zeoot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/SInst1\\_Politico\\_administrativo.pdf](https://zeoot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/SInst1_Politico_administrativo.pdf)).

## Anexo B 10

### Ubicación Geográfica - ciudad de Cajamarca



*Nota.* Adaptado de la página de Google Earth  
(<https://earth.google.com/web/@-7.1901596,-78.40898767,2830.06479169a,41149.12867818d,35y,359.99999573h,0t,0r>)

## Anexo C. Sección 415: Disposiciones Generales



PERU Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles

### SECCIÓN 415 DISPOSICIONES GENERALES

#### Descripción

##### 415.01

Contiene las disposiciones generales correspondientes a los trabajos de pavimentación flexible tales como riegos, sellos, tratamientos superficiales, emulsiones y morteros asfálticos, así como de concretos asfálticos en caliente y en frío.

#### Materiales

##### 415.02

Los materiales a utilizar deberán corresponder a los siguientes requerimientos:

##### a. Agregados pétreos y filler o relleno mineral

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una adecuada adherencia.

Para efecto de las presentes especificaciones, se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75 µm (N.º 4 y N.º 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75 µm (N.º 200).

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en cada especificación.

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente.

Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación.

El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, generalmente cal hidratada o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico. Su peso unitario aparente, determinado por la norma de ensayo MTC E 205, deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 g/cm<sup>3</sup> y su coeficiente de emulsibilidad (NLT 180) deberá ser inferior a 0,6.

La mezcla de los agregados grueso y fino y el polvo mineral deberá ajustarse a las exigencias de la respectiva especificación, en cuanto a su granulometría.

##### b. Cemento asfáltico

El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la [Tabla 415-01](#), según lo establecido en Proyecto y aprobado por el Supervisor.



**Tabla 415-01**  
**Selección del tipo de cemento asfáltico**

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

Los requisitos de calidad del cemento asfáltico son los que establecen las [Tablas 415-02](#) y [415-03](#).

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de 175°C.

El cemento asfáltico podrá modificarse mediante la inclusión de aditivos de diferente naturaleza tales como: rejuvenecedores, polímeros, o cualquier otro producto garantizado, con los ensayos correspondientes. En tales casos, las especificaciones particulares establecerán el tipo de aditivo y las especificaciones que deberán cumplir tanto el cemento asfáltico modificado como las mezclas asfálticas resultantes, que serán aprobadas por el Supervisor, al igual que la dosificación y dispersión homogénea del aditivo incorporado.

Las especificaciones particulares de los cementos asfálticos modificados con polímeros se describen en la [Sección 431](#) junto con sus requisitos de calidad, que se establecen las [Tablas 431-01](#), [431-02](#) y [431-03](#).



Tabla 415-02 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Grado	Ensayo	Grado Penetración											
		PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300			
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx		
<b>Pruebas sobre el Material Bituminoso</b>													
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300		
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177			
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100			
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0			
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) <sup>(1)</sup>	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1		
Ensayo de la Mancha (Oleinsies) <sup>(2)</sup>													
Solvente Nafta - Estándar		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo			
Solvente Nafta - Xileno, %Xileno	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo			
Solvente Heptano - Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo			
<b>Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h</b>													
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5		
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+			
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm <sup>(3)</sup>	MTC E 306			50		75		100		100			

(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.

(3) - Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.



Tabla 415-03  
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad

Características	Grado de Viscosidad				
	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1.000±200	2.000±400	4.000±800
Viscosidad Cinemática, 135°C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
> Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
> Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Oleinsies) <sup>(1)</sup>					
Solvente Nafta - Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta - Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano - Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

(1) Porcentajes de solvente a usar, se determinara si el resultado del ensayo indica positivo.  
Fuente: ASTM D 3381, NTP

## Anexo D. Sección 423: Pavimento de Concreto Asfáltico en caliente



PERÚ  
Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Viceministerio de Transportes

Dirección General de Carreteras y Ferrocarriles

### SECCIÓN 423 PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE

#### Descripción

##### 423.01 Generalidades

Este trabajo consistirá en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente y su colocación en una o más capas sobre una superficie debidamente preparada e imprimada, de acuerdo con estas especificaciones y de conformidad con el Proyecto.

#### Materiales

##### 423.02

Los materiales a utilizar serán los que se especifican a continuación:

##### a. Agregados minerales gruesos

Se aplica en lo que corresponda, lo especificado en la [Subsección 415.02\(a\)](#). Los agregados gruesos, deben cumplir además con los requerimientos, establecidos en la [Tabla 423-01](#):

##### b. Agregados minerales finos

Se aplica en lo que corresponda, lo especificado en la [Subsección 415.02\(a\)](#). Adicionalmente deberá cumplir con los requerimientos de la [Tabla 423-02](#).

Tabla 423-01  
Requerimientos para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

\* Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la Subsección 430.02.
- La notación "85/50" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

Tabla 423-02  
Requerimientos para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

\*\*Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, Subsección 430.02.



**c. Gradación**

La gradación de los agregados pétreos para la producción de la mezcla asfáltica en caliente deberán ajustarse a alguna de las siguientes gradaciones y serán propuestas por el Contratista y aprobadas por el Supervisor.

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino según lo establecido en el acápite (a) y (b) de esta Subsección, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el 1% de partículas deleznableles según ensayo MTC E 212. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos.

**1. Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)**

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los husos granulométricos, especificados en la [Tabla 423-03](#). Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto.

Tabla 423-03

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.º 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.º 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.º 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.º 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.º 200)	4-8	4-8	5-10

**2. Gradación para mezcla superpave**

En las [Tablas 423-04](#) y [423-05](#) se especifican las características que deben cumplir las mezclas de agregados para tamaño nominal máximo del agregado de 19 y 25 mm respectivamente.

La curva granulométrica del agregado debe quedar dentro de los puntos de control y principalmente fuera de la zona restrictiva. Se recomienda que la curva pase por debajo de esta zona restrictiva.

El tipo de asfalto a utilizar en estas mezclas, debe ser según clasificación superpave-SHRP, AASHTO (MP-320, MP-1); así mismo la calidad de los agregados deberá regirse a lo establecido por la metodología SHRP.

Tabla 423-04

Gradación superpave para agregado de tamaño nominal máximo de 19 mm.

Tamaño del tamiz mm	Puntos de Control		Línea de Máxima Densidad	Zona de Restricción		Formula de Mezcla	Tolerancia (**)
				Mínimo	Máximo		
25		100,0	100,0				
19,00	100,0	90,0	88,4				
12,50			73,2				
9,50			59,6				
4,75			49,5			*	(6)
2,36	49,0	23,0	34,6	34,6	34,6	*	(6)
1,18			25,3	22,3	28,3		
0,60			18,7	16,7	20,7	*	(4)
0,30			13,7	13,7	13,7	*	(3)
0,15			10,0				
0,075	8,0	2,0	7,3			*	(2)

(\*) El Contratista especificará los valores con aproximación al 0.1%  
 (\*\*) Desviaciones aceptables (\*) de los valores de la Fórmula

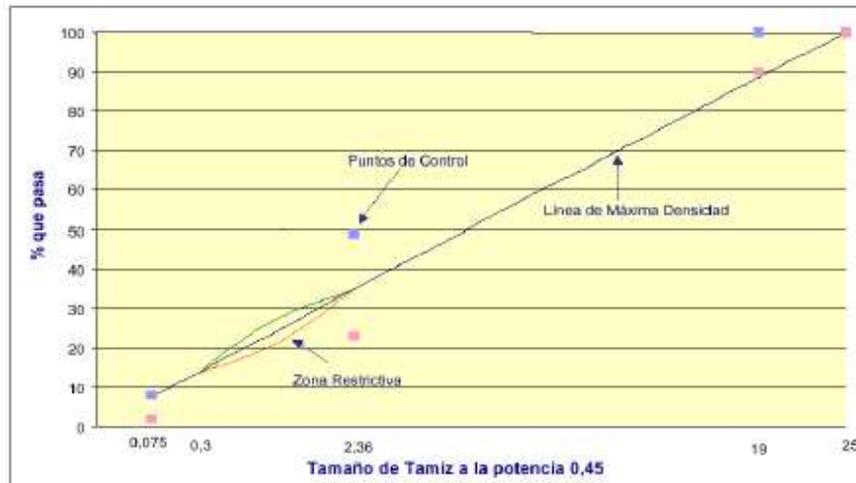


Tabla 423-05  
Gradación superpave para agregado de tamaño nominal máximo 25 mm

Tamaño del tamiz mm	Puntos de Control	Línea de Máxima Densidad	Zona de Restricción		Formula de Mezcla	Tolerancia (**)	
			Mínimo	Máximo			
37,5		100,0	100,0				
25,0	100,0	90,0	83,3				
19,00			73,6				
12,50			61,0				
9,50			53,9		*	(6)	
4,75			39,5	39,5	*	(6)	
2,36	45,0	19,0	28,8	26,8	30,8		
1,18			21,1	18,1	24,1	*	(4)
0,60			15,6	13,6	17,6	*	(3)
0,30			11,4	11,4	11,4		
0,15	7,0	1,0	8,3			*	(2)
0,075			6,1				

(\*) El Contratista especificará los valores con aproximación al 0.1%  
(\*\*) Desviaciones aceptables (\*) de los valores de la Fórmula.

**d. Filler o polvo mineral**

El filler o relleno de origen mineral, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia al par agregado-asfalto, podrá ser de preferencia cal hidratada, que deberá cumplir la norma AASHTO M-303 y lo indicado en la [Sección 429](#).

La cantidad a utilizar se definirá en la fase de diseños de mezcla según el Método Marshall.

**e. Cemento asfáltico**

El Cemento Asfáltico deberá cumplir con lo especificado en la [Subsección 415.02 \(b\)](#) y los equivalentes al PG (Grado de Comportamiento-AASHTO M-320) especificados en la [Tabla 423-13](#), [Tabla 423-14](#) y [Tabla 423-15](#), basados en el clima y temperatura de la zona.

**f. Fuentes de provisión o canteras**

Se aplica lo indicado en la [Subsección 415.04](#). Adicionalmente el Supervisor deberá aprobar los yacimientos de los agregados, relleno mineral de aportación y cemento asfáltico, antes de procederse a la entrega de dichos materiales.



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

Viceministerio  
de Transportes

Dirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

## Equipo

### 423.03

Se aplica lo indicado en la [Subsección 415.03](#). Adicionalmente se deberá considerar lo siguiente:

**a. Equipo para la elaboración de los agregados triturados**

La planta constará de una trituradora primaria y una secundaria, obligatoriamente. Una terciaria siempre y cuando se requiera. Se deberá incluir también una clasificadora y un equipo de lavado. Además deberá estar provista de los filtros necesarios para prevenir la contaminación ambiental de acuerdo a lo indicado en las [Subsecciones 05.06](#), [05.11](#), [400.03](#) y [400.04](#).

**b. Planta de asfalto**

La mezcla de concreto asfáltico se fabricará en plantas adecuadas de tipo continuo o discontinuo, capaces de manejar simultáneamente en frío el número de agregados que exija la fórmula de trabajo adoptada.

Las plantas productoras de mezcla asfáltica deberán cumplir con lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de calidad del aire.

Las tolvas de agregados en frío deberán tener paredes resistentes y estar provistas de dispositivos de salida que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier posición. El número mínimo de tolvas será función del número de fracciones de agregados por emplear y deberá tener aprobación del Supervisor.

En las plantas del tipo tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación de agregados en frío deberá ser ponderal y tener en cuenta su humedad para corregir la dosificación en función de ella. En los demás tipos de plantas se aceptarán sistemas de dosificación de tipo volumétrico.

La planta estará dotada de un secador que permita el secado correcto de los agregados y su calentamiento a la temperatura adecuada para la fabricación de la mezcla. El sistema de extracción de polvo deberá evitar su emisión a la atmósfera o el vertido de lodos a cauces de agua o instalaciones sanitarias.

Las plantas que no sean del tipo tambor secador-mezclador, estarán dotadas, así mismo, de un sistema de clasificación de los agregados en caliente, de capacidad adecuada a la producción del mezclador, en un número de fracciones no inferior a tres y de tolvas de almacenamiento de las mismas, cuyas paredes serán resistentes y de altura suficiente para evitar contaminaciones. Dichas tolvas en caliente estarán dotadas de un rebosadero, para evitar que el exceso de contenido se vierta en las contiguas o afecte el funcionamiento del sistema de clasificación; este sistema estará provisto de un dispositivo de alarma, claramente perceptible por el operador, que advierta cuando el nivel de la tolva baje, proporcionando el peso o volumen de material establecido y de un dispositivo para la toma de muestras de las fracciones suministradas.

La instalación deberá estar provista de indicadores de la temperatura de los agregados, situados a la salida del secador y en las tolvas en caliente.

El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del asfalto deberá permitir su recirculación y su calentamiento a la temperatura de empleo.

En el calentamiento del asfalto se emplearán, preferentemente, serpentines de aceite o vapor, evitándose en todo caso el contacto del cemento asfáltico con elementos metálicos de la caldera que estén a temperatura muy superior a la de almacenamiento. Todas las tuberías, bombas, tanques, etc., deberán estar provistos de dispositivos calefactores o aislamientos. La descarga de retorno del cemento asfáltico a los tanques de almacenamiento será siempre sumergida. Se dispondrán termómetros en lugares convenientes, para asegurar el control de la temperatura del cemento asfáltico, especialmente en la boca de salida de éste al mezclador y en la entrada del tanque de



PERU

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

Viceministerio  
de Transportes

Dirección General  
de Camiones y  
Ferrocarriles

almacenamiento. El sistema de circulación deberá estar provisto de una toma para el muestreo y comprobación de la calibración del dispositivo de dosificación.

En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación deberá poseer un sistema de dosificación exacta de los mismos. La instalación estará dotada de sistemas independientes de almacenamiento y alimentación de aditivos, los cuales deberán estar protegidos contra la humedad.

Las instalaciones de tipo discontinuo deberán estar provistas de dispositivos de dosificación por peso cuya exactitud sea superior al 0,5%. Los dispositivos de dosificación del filler y cemento asfáltico tendrán, como mínimo, una sensibilidad de 0,5 kg. El cemento asfáltico deberá ser distribuido uniformemente en el mezclador, y las válvulas que controlan su entrada no deberán permitir fugas ni goteos.

En las instalaciones de tipo continuo, las tolvas de agregados clasificados calientes deberán estar provistas de dispositivos de salida, que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier posición. Estos dispositivos deberán ser calibrados antes de iniciar la fabricación de cualquier tipo de mezcla, en condiciones reales de funcionamiento.

El sistema dosificador del cemento asfáltico deberá disponer de instrumentos para su calibración a la temperatura y presión de trabajo. En las plantas de mezcla continua, deberá estar sincronizado con la alimentación de los agregados pétreos y el filler mineral.

En las plantas continuas con tambor secador-mezclador se deberá garantizar la distribución homogénea del asfalto y que ésta se efectuó de manera que no exista ningún riesgo de contacto con el fuego, ni de someter al cemento asfáltico a temperaturas inadecuadas.

En las instalaciones de tipo continuo, el mezclador será de ejes gemelos.

Si la planta posee tolva de almacenamiento de la mezcla elaborada, su capacidad deberá garantizar el flujo normal de los vehículos de transporte.

En la planta mezcladora y en los lugares de posibles incendios, es necesario que se cuente con un extintor de fácil acceso y uso del personal debidamente entrenado en la obra.

Antes de la instalación de la planta mezcladora, el Contratista deberá solicitar a las autoridades correspondientes, los permisos de localización, concesión de aguas, disposición de sólidos, funcionamiento para emisiones atmosféricas, vertimiento de aguas y permiso por escrito al dueño o representante legal del terreno. Para la ubicación se debe considerar dirección de los vientos, proximidad a las fuentes de materiales, fácil acceso y cumplir lo especificado en las [Subsecciones 05.06, 05.11, 400.03 y 400.04](#).

Los trabajadores y operarios más expuestos al ruido, gases tóxicos y partículas deberán estar dotados con elementos de seguridad industrial y adaptados a las condiciones climáticas tales como: gafas, protectores de oído, protectores de gas y polvo, casco, guantes, botas y otros que se considere necesarios.

**c. Equipo para el transporte**

Tanto los agregados como las mezclas se transportarán en volquetes debidamente acondicionadas para tal fin. La forma y altura de la tolva será tal, que durante el vertido en la terminadora, el volquete sólo toque a ésta a través de los rodillos previstos para ello. Para carreteras con volúmenes de tráfico superiores a 4.000 vehículos/día o que se ubiquen en zonas climáticas desfavorables (bajas temperaturas), se verterá la mezcla desde la tolva del volquete a un vehículo de transferencia de material y desde allí a la pavimentadora.

Los volquetes deberán estar siempre provistos de dispositivos que mantengan la temperatura, los cuales deben estar debidamente asegurados, tanto para proteger los materiales que transporta, como para prevenir emisiones contaminantes.



**d. Equipo para el esparcido de la mezcla**

La extensión y terminación de las mezclas densas en caliente, se hará con una pavimentadora autopropulsada, adecuada para extender y terminar la mezcla con un mínimo de precompactación de acuerdo con los anchos y espesores especificados. La pavimentadora poseerá un equipo de dirección adecuado y tendrá velocidades para retroceder y avanzar.

Estará equipada con un vibrador y un distribuidor de tornillo sinfin, de tipo reversible, capacitado para colocar la mezcla uniformemente por delante de los enrasadores. El mecanismo de accionamiento de los transportadores de cadena no deberá producir segregación física central.

La pavimentadora tendrá dispositivos mecánicos compensadores para obtener una superficie pareja y formar los bordes de la capa sin uso de formas. Será ajustable para lograr la sección transversal especificada del espesor de diseño, que deberá ser verificada por el Supervisor. Tanto la plancha como las extensiones deberán contar con sistema de calentamiento uniforme.

Deberá poseer sensores electrónicos para garantizar la homogeneidad de los espesores.

Se evitará todo tipo de derrames durante la descarga de la mezcla a la tolva, a la vez de procurar una pavimentación continua y manteniendo una velocidad constante de la pavimentadora.

Si se determina que el equipo deja huellas en la superficie de la capa, áreas defectuosas u otras irregularidades objetables durante la construcción, el Supervisor exigirá su cambio.

Cuando la mezcla se prepare en planta portátil, la misma planta realizará su extensión sobre la superficie.

**e. Equipo de compactación**

Se deberán utilizar rodillos autopropulsados de cilindros metálicos, estáticos o vibratorios tándem y de neumáticos. El equipo de compactación será aprobado por el Supervisor, a la vista de los resultados obtenidos en el tramo de prueba. Para Vías de Primer orden los rodillos lisos se restringen a los denominados tipos tándem, no permitiéndose el uso de los que poseen dos llantas traseras neumáticas. Para otros tipos de vías se aconseja el uso de equipos tándem.

En el caso de compactación de mezclas porosas, se empleará compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios, aprobados por el Supervisor, a la vista de los resultados obtenidos en el tramo de prueba.

Los compactadores de rodillos no deberán presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios tendrán dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático. Además, deberán poseer controladores de vibración y de frecuencia independientes. Los de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y disposición tales, que permitan el traslape de las huellas delanteras y traseras y, en caso necesario, faldones de lona protectora contra el enfriamiento de los neumáticos.

Las presiones lineales estáticas o dinámicas, y las presiones de contacto de los diversos compactadores, serán las necesarias para conseguir la compactación adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir roturas del agregado ni desplazamiento de la mezcla a las temperaturas de compactación.

**f. Equipo accesorio**

Estará constituido por elementos para limpieza, preferiblemente barredora o sopladora mecánica. Así mismo, se requieren herramientas menores para efectuar correcciones localizadas durante la extensión de la mezcla.



Al término de obra se desmontarán las plantas de asfalto, dejando el área limpia y sin que signifique cambio alguno al paisaje o comprometa el medio ambiente.

**Requerimientos de construcción**

**423.04 Mezcla de agregados**

Las características de calidad de la mezcla asfáltica, deberán estar de acuerdo con las exigencias para mezclas de concreto bituminoso que se indican en la [Tablas 423-06 y 423-08](#), según corresponda al tipo de mezcla que se produzca, de acuerdo al diseño del proyecto.

**Tabla 423-06**  
**Requisitos para mezcla de concreto bituminoso**

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E 504</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	<a href="#">Ver Tabla 423-10</a>		
<b>Inmersión – Compresión (MTC E 518)</b>			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

- (1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.
- (2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.
- (3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.
- (4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.

El Índice de Compactabilidad se define como:  $\frac{1}{GEB\ 50 - GEB\ 5}$

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

**Tabla 423-07**  
**Requisitos de adherencia**

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		< 3.000	> 3.000 <sup>+</sup>
Adherencia (Agregado grueso)	MTC E 517	+95	-
Adherencia (Agregado fino)	MTC E 220	4 mín.**	-
Adherencia (mezcla)	MTC E 521	-	+95
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	AASHTO T 283	-	80 Mín.

\* Mayor a 3000 msnm y zonas húmedas ó lluviosas

\*\* Grado inicial de desprendimiento

Para zonas de alturas mayores a 3000 msnm. ó zonas húmedas y lluviosas; la efectividad, compatibilidad y alto rendimiento del aditivo entre el par asfalto – agregado en cada uno de los diseños de mezcla, será evaluado según [Subsección 430.02](#) ó en el caso de evaluarse con la norma ASTM D-1075 y/o ASTM D-4867 (Lottman Modificado), debe obtener valores mínimos de ochenta por ciento (80%).



**Tabla 423-08**  
Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N.º 8)	21	-
4,75 mm (N.º 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (½")	15	14
19,0 mm (¾")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 ½")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

Nota: Los valores de esta tabla serán seleccionados de acuerdo al tamaño máximo de las mezclas que se dan en la Subsección 423.02(c). Las tolerancias serán definidas puntualmente en función de las propiedades de los agregados.

Para el caso de mezclas tipo superpave nivel 1, deberán tenerse en cuenta los requerimientos de la [Tabla 423-08](#), así como los solicitados en las [Tablas 423-9](#) a [423-10](#).

**Tabla 423-09**  
Mezcla asfáltica tipo superpave  
Requerimientos generales

Parámetros de Diseño	Requerimientos
Porcentaje de vacíos con aire a los giros de diseño, $N_{dis}$	4,0
Porcentaje de la densidad máxima a los giros iniciales, $N_{ini}$	89% máx.
Porcentaje de la densidad máxima a los giros máximos, $N_{máx}$	98% máx.
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta (AASHTO T 283)	80% mín.

**Tabla 423-10**  
Mezcla asfáltica tipo superpave  
Vacíos llenos con asfalto (VFA)

Tráfico (millones de ejes equivalentes)	VFA
≤0,3	70-80
>0,3-3	65-78
>3	65-75

**Tabla 423-11**  
Mezcla asfáltica superpave  
Giros de compactación

Tráfico (millones de ejes equivalentes)	Temperatura promedio alta del aire											
	<39°C			39-40°C			41-42°C			43-44°C		
	$N_{ini}$	$N_{dis}$	$N_{máx}$	$N_{ini}$	$N_{dis}$	$N_{máx}$	$N_{ini}$	$N_{dis}$	$N_{máx}$	$N_{ini}$	$N_{dis}$	$N_{máx}$
≤0,3	7	68	104	7	74	114	7	78	121	7	82	127
>0,3-1	7	76	117	7	83	129	7	88	138	8	93	146
>1-3	7	86	134	8	95	150	8	100	158	8	105	167
>3-10	8	96	152	8	106	169	8	113	181	9	119	192
>10-30	8	109	174	9	121	195	9	128	208	9	135	220
>30-100	9	126	204	9	139	228	9	146	240	10	153	253
>100	9	142	233	10	158	262	10	165	275	10	172	288

**423.05 Fórmula de trabajo**

Se aplica lo indicado en la [Subsección 415.05](#) y adicionalmente:



**a. Gradación**

La Gradación de la mezcla será la que se indica en el Proyecto, de acuerdo a lo que se especifica en la [Subsección 423.02\(c\) \(1\)](#) o [423.02\(c\) \(2\)](#) para mezcla asfáltica en caliente (MAC) o superpave del nivel 1, respectivamente.

**b. Aplicación de la fórmula de trabajo en obra y tolerancias**

Todas las mezclas provistas, deberán concordar con la fórmula de trabajo en obra, fijada por el Supervisor, dentro de las tolerancias establecidas en la [Subsección 423.05\(e\)](#).

El Supervisor extraerá diariamente como mínimo una muestra de los agregados pétreos y dos de la mezcla, para verificar la uniformidad requerida del producto. El Supervisor podrá aprobar una nueva fórmula de trabajo, cuando los resultados fueran desfavorables o la variación de las condiciones de los materiales lo haga necesario. De todas maneras, la fórmula de trabajo será revisada cada vez que se cumpla una tercera parte de la meta física del Proyecto.

**c. Métodos de comprobación**

Cuando se compruebe la existencia de un cambio en el material o se deba cambiar el lugar de su procedencia, El Contratista deberá elaborar una nueva fórmula de trabajo, que deberá ser aprobada por el Supervisor. Los agregados serán rechazados cuando no cumplan con las especificaciones técnicas pertinentes, para obtener una mezcla equilibrada.

**d. Composición de la mezcla de agregados**

La mezcla se compondrá básicamente de agregados pétreos gruesos, finos y relleno mineral (separados por tamaños), en proporciones tales que se produzca una curva continua, aproximadamente paralela y centrada al huso granulométrico especificado. La fórmula de trabajo será determinada para las condiciones de operación regular de la planta asfáltica.

La fórmula de trabajo con las tolerancias admisibles, producirá el huso granulométrico de control de obra, debiéndose elaborar una mezcla de agregados que no escape de dicho huso.

Las mezclas con valores de estabilidad muy altos y valores de flujos muy bajos, no son adecuadas cuando las temperaturas de servicio fluctúan sobre valores bajos.

**e. Tolerancias**

Las tolerancias recomendadas en las mezclas, son aplicables para la fórmula de trabajo, estarán dentro del huso de especificación y son las indicadas en la [Tabla 423-12](#).

Tabla 423-12

Parámetros de Control	Variación permisible en % en peso total de áridos
N.º 4 o mayor	±5%
N.º 8	±4%
N.º 30	±3%
N.º 200	±2%
Asfalto	±0,2%

**f. Módulo resiliente**

La mezcla definida como óptima, deberá ser verificada con la medida de su módulo resiliente. El valor del módulo, determinado según la norma de ensayo ASTM D4123-82 (1995) a la temperatura y frecuencia de aplicación de carga que define la norma, se obtendrá compactando las probetas con 75 golpes por cara. Las probetas que se sometan a este ensayo deberán ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo, según la norma de ensayo AASHTO R-30. Si este valor de módulo no se cumple, será necesario rediseñar la mezcla hasta lograr su cumplimiento.

## Anexo E. MTC E 504: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall



### MTC E 504

#### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

##### 1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar a partir de la preparación y compactación de especímenes de mezcla bituminosa para pavimentación, de altura nominal de 64 mm y 102 mm de diámetro, el diseño de una mezcla asfáltica y calcular sus diferentes parámetros de comportamiento, por medio del método manual Marshall.

##### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este modo operativo está destinado para su empleo con mezclas densas bituminosas de laboratorio y aquellas producidas en planta, con agregados hasta de 25 mm de tamaño máximo y para recompactación de muestras de pavimentos asfálticos.
- 2.2 Los especímenes de mezclas bituminosas compactadas, moldeadas por este procedimiento son empleados para varios ensayos físicos tales como estabilidad, flujo, resistencia a tracción indirecta y módulos. El análisis de densidad y vacíos también es conducido sobre especímenes para diseño de mezcla y evaluación de la compactación en campo.

**Nota 1.** Las mezclas no compactadas son empleadas para la determinación del peso específico teórico máximo.

- 2.3 Los valores de estabilidad Marshall y flujo junto con la densidad, vacíos de aire de la mezcla total, vacíos en el agregado mineral ó simplemente vacíos ó ambos, llenados con asfalto; son empleados para el diseño de mezclas en laboratorio así como para la evaluación de mezclas asfálticas. Así también la estabilidad y flujo Marshall pueden ser empleados para monitorear los procesos de producción de mezclas bituminosas en planta. También pueden ser empleados como referencia para evaluar diferentes mezclas y los efectos de acondicionamientos tales como con agua.
- 2.4 La estabilidad y flujo Marshall son características de las mezclas bituminosas determinadas a partir de especímenes compactados de una geometría específica y en una manera prescrita. La estabilidad Marshall es la máxima resistencia a la deformación a una razón constante de carga. La magnitud de la estabilidad Marshall varía con el tipo y gradación del agregado y grado del bitumen empleado así como su cantidad. Varias agencias establecen criterios para los valores de la estabilidad Marshall. El flujo Marshall es una medida de la deformación de las mezclas bituminosas determinado durante el ensayo de estabilidad. No existe un valor ideal pero hay límites aceptables. Si el flujo en el contenido óptimo de asfalto sobrepasa el límite superior, la mezcla se considera demasiado plástica ó inestable, y si está bajo el límite inferior esta se considera demasiado rígida.
- 2.5 Para propósitos de diseño de mezcla los resultados de los ensayos de estabilidad y flujo deberán consistir del promedio de un mínimo de 03 especímenes por cada incremento de contenido de ligante, donde el contenido de ligante varía en incrementos de 0,5% sobre un rango de contenido de ligante. El rango de contenido de ligante generalmente es seleccionado en base a la experiencia y datos históricos de los materiales componentes, pero puede incluir también juicio y error para incluir el rango deseable de las propiedades de la mezcla. Las mezclas densas generalmente mostrarán un pico en la estabilidad a un determinado contenido de ligante. Este pico en el contenido de ligante puede ser promediado con otros contenidos de ligante tal como el contenido de ligante en el contenido de la máxima densidad de la curva ligante-densidad y el contenido de ligante en los vacíos de aire deseados y vacíos llenados.
- 2.6 La estabilidad y flujo Marshall efectuados en laboratorio de campo, obtenida de especímenes hechos de mezclas producidas en planta pueden variar significativamente de los valores de diseño obtenidos en el laboratorio debido a las diferencias del mezclado que hay entre una



planta y la efectuada en laboratorio. Esto también incluye la eficiencia en el mezclado y el envejecimiento producido.

- 2.7 Las diferencias significativas en la estabilidad y flujo Marshall de un grupo de ensayos a otro ó de un valor promedio de un grupo numerosos de datos ó especímenes preparados de una mezcla producida en planta puede indicar pobre mezclado, técnicas incorrectas de ensayo, cambio de gradación, cambio del contenido de ligante, ó mal funcionamiento del proceso de planta. La fuente de la variación deberá ser averiguada y el problema resuelto.
- 2.8 Los especímenes a menudo serán preparados empleando el método indicado aquí, pero pueden ser preparados empleando otros tipos de procedimientos de compactación. Otros tipos de compactación pueden hacer variar las características de resistencia en comparación con los preparados por el método Marshall.
- 2.9 Los valores de estabilidad y flujo Marshall pueden ser determinados también empleando núcleos provenientes de un pavimento para información y evaluación. Sin embargo estos resultados no pueden ser comparados con resultados de especímenes preparados en laboratorio y no deberán ser empleados para propósitos de especificación ó aceptación.

### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM-D6926: "Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus".
- 3.2 ATM D 6927: "Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures".

### 4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

#### 4.1 EQUIPOS PARA LA PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES

4.1.1 Molde ensamblado para Especímenes, moldes cilíndricos, placas de base y collarines de extensión cumplirán con los detalles mostrados en la Figura 1.

4.1.2 Extractor de Especímenes, Tendrá un disco de acero que encajará en el molde sin doblarse y no será menor de 100 mm de diámetro y 12,5 mm de espesor. El disco de acero es empleado para extraer los especímenes compactados de los moldes con el uso del collar del molde. Cualquier dispositivo adecuado de extracción tal como una gata hidráulica puede ser empleado, de tal manera que el espécimen no se deforme durante el proceso de extracción.

#### 4.1.3 Martillos de Compactación:

4.1.3.1 Martillos de Compactación con manubrio sostenido manualmente (tipo 1) ó manubrio fijo (Tipo 2), ya sea operado mecánicamente ó a mano como se muestra en la Figura 2, tendrá un pie de compactación plano con un tornillo y una masa deslizante de  $4,54 \pm 0,01$  kg con caída libre de  $457,2 \pm 1,5$  mm (ver la Figura 2 para tolerancias en los martillos). Un martillo mecánico se muestra en la Figura 2.

**Nota 2.** Los martillos manuales de compactación deberán ser equipados con una protección de seguridad para los dedos.

4.1.3.2 Martillo de Compactación con Manubrio Fijo, con sobrecarga en la parte superior del manubrio, base de rotación constante y operado mecánicamente (Tipo 3), deberá tener la cara circular de apisonado y un peso deslizante de  $4,54 \pm 0,01$  kg con una caída libre de  $457,2 \pm 1,5$  mm. Posee un mecanismo de rotación en la base. La velocidad de rotación de la base y la razón de golpes será de 18 a 30 rpm y  $64 \pm 4$  golpes por minuto respectivamente.

**Nota 3.** El aparato para martillo Marshall tipo 3 está disponible en versiones con más de un martillo. La operación múltiple de varios martillos afectará la densidad de un espécimen. Mejores resultados comparativos se obtendrán compactando todos los especímenes con el mismo martillo y sin la operación de ningún otro.



- 4.1.3.3 Pedestal de Compactación, Consistirá de un poste de madera de 203,2 por 203,2 mm, aproximadamente de 457 mm de largo cubierto con una placa de acero aproximadamente de 304,8 mm por 304,8 mm y 25,4 mm de grosor. Este podrá ser de roble, pino amarillo u otra madera que tenga un promedio de densidad de 670 a 770 kg/m<sup>3</sup>. El poste de madera estará asegurado por pernos a través de 4 ángulos a un bloque de concreto. La placa de acero deberá estar firmemente fijada al poste. El pedestal ensamblado será instalado de tal manera que el poste esté a plomo y la placa nivelada.
- 4.1.3.4 Sostén de Molde para Espécimen, En compactadores de martillo simple, el sostén estará montado sobre el pedestal de compactación de tal manera que el molde de compactación quede centrado con el pedestal de compactación. Los sostenedores de moldes de compactadores multimartillos necesariamente no estarán centrados. Los sostenedores mantendrán el molde de compactación, el collar y la placa de base asegurados y en posición durante la compactación del espécimen.
- 4.1.3.5 Hornos, cacerolas para calentado ó placas calentadoras, Los hornos serán de aire circulante ó termostáticamente controlados, las cacerolas de calentamiento y las placas calentadoras serán proveídos para calentar los agregados, el material bituminoso, los moldes de especímenes, martillos de compactación y otros equipos a 3°C de las temperaturas requeridas para el mezclado y la compactación. Protecciones adecuadas ó baños de arena se emplearán sobre la superficie de las placas calentadoras para minimizar el sobrecalentamiento local.
- 4.1.4 Equipo Misceláneo
- 4.1.4.1 Aparatos de Mezclado, Se recomienda el mezclado mecánico. Cualquier tipo de mezclador mecánico puede ser empleado siempre y cuando la mezcla se mantenga a la temperatura de mezclado requerida y se produzca una mezcla homogénea y bien cubierta en la cantidad requerida y en un tiempo pertinente, así también que permita que toda la mezcla sea recuperada. Una bandeja de metal ó bolo de suficiente capacidad para el mezclado a mano puede ser empleado.
- 4.1.4.2 Contenedores para Calentamiento de Agregados, Bandejas de metal de fondo plano, ú otros adecuados.
- 4.1.4.3 Contenedores cubiertos para calentar material bituminoso, ya sean latas tipo gill, vasos, potes de vaciado ú otras bandejas podrán ser empleadas.
- 4.1.4.4 Herramientas de mezclado, consistirán de cucharones de acero (cucharón de punta Mason con la punta redondeada), cucharas ó espátulas para batido y mezclado a mano.
- 4.1.4.5 Termómetros calibrados, Para determinar temperaturas de agregados, bitumen y mezclas bituminosas. Termómetros del tipo de vidrio ó de dial con armazones de metal se recomiendan. Se requieren en un rango de 10 a 200 °C con sensibilidad de 3°C.
- 4.1.4.6 Balanza, con aproximación al menos de 0,1 g para las bachadas de mezcla.
- 4.1.4.7 Guantes, para maniobrar el equipo caliente.
- 4.1.4.8 Crayones de marcado, para identificar los especímenes.
- 4.1.4.9 Cucharón de base plana para bache los agregados.
- 4.1.4.10 Cuchara larga para colocar la mezcla en el molde de especímenes.
- 4.2 EQUIPOS PARA EL ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO
- 4.2.1 Cabezal de Ruptura (ver Figura 3)
- 4.2.2 Máquina de Carga a Compresión (ver Figura 4).
- 4.2.3 Dispositivo de Medida de Carga (anillo dinamómetro de 22 240 N (5000 lbf).
- 4.2.4 Medidor de Flujo.

- 4.2.5 Baño de Agua (precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ ).
- 4.2.6 Horno, capaz de mantener la temperatura especificado  $\pm 1^\circ\text{C}$ .
- 4.2.7 Baño de Aire, para el caso de mezclas con asfaltos líquidos deberá ser automáticamente controlado y mantendrá la temperatura del aire a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .
- 4.2.8 Termómetros, con precisión de  $0,2^\circ\text{C}$ .

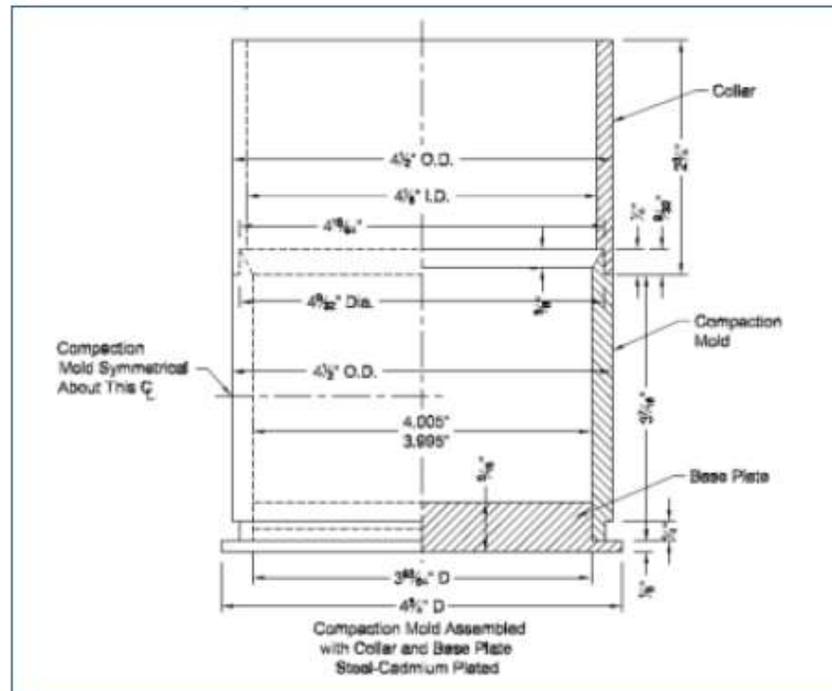


Figura 1. Molde de Compactación

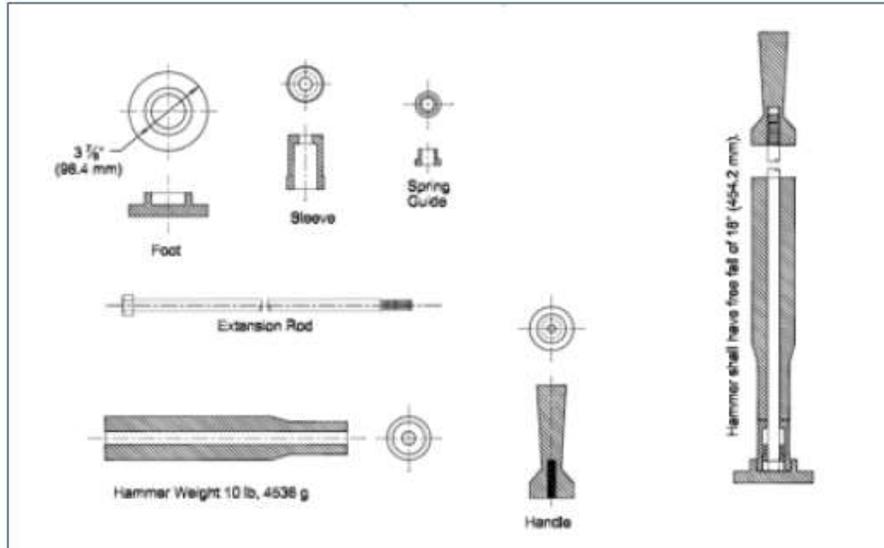


Figura 2. Martillo de Compactación

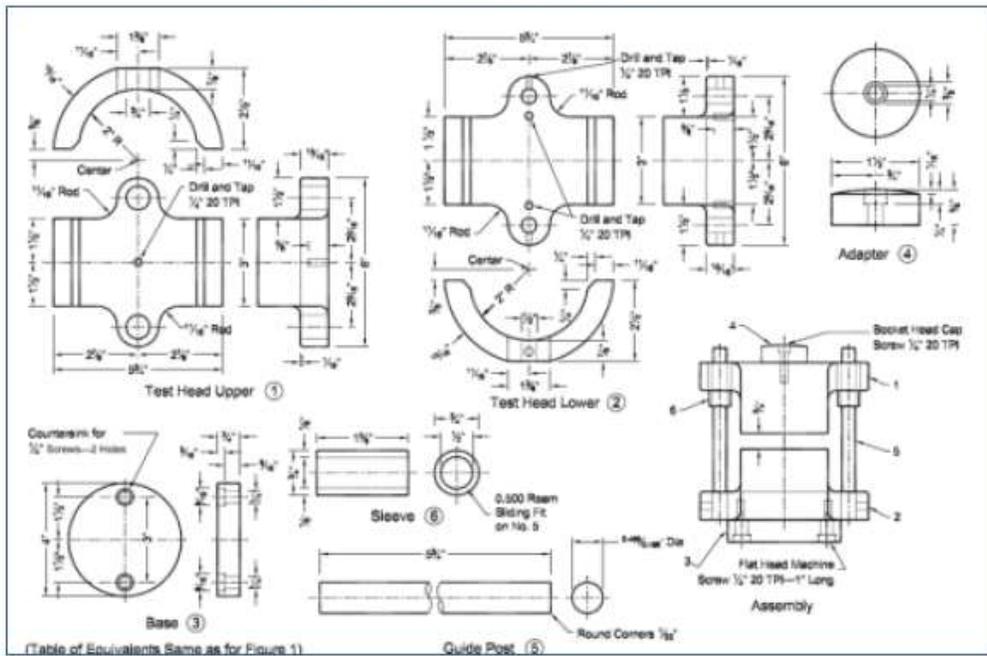


Figura 3. Cabezal de Rotura



- 6.1.2.2 Mezclas con Asfaltos Cut back, La temperatura a la cual un asfalto cut back será calentado para producir una viscosidad de 0,17 a 0,02 Pa.s será la temperatura de mezcla. La temperatura de compactación para mezcla de asfalto cut back se selecciona empleando una carta viscosidad versus porcentaje de solvente para asfaltos cut back. De la carta compuesta determine el porcentaje de solvente del asfalto cut back por peso a partir de su viscosidad a 60°C después que este haya perdido el 50% de su solvente (para asfaltos de curado medio y rápido) ó 20% de su solvente (para asfaltos de curado lento). La temperatura de compactación se determina de la carta viscosidad temperatura como aquella a la cual el asfalto cut back debe ser calentado para producir una viscosidad de  $0,28 \pm 0,03$  Pa.s después de la pérdida de la cantidad especificada de solvente original.
- 6.1.2.3 Mezclas de Pavimentación Recompactadas, Los materiales obtenidos de un pavimento existente serán calentados en recipientes cubiertos en horno a 3°C de la temperatura de compactación deseada. El calentamiento durará lo suficiente como para obtener la temperatura deseada. Si la temperatura de compactación para una mezcla específica no se conoce, la experiencia ha mostrado que estas mezclas serán compactadas una temperatura entre 120 °C a 135 °C. Durante la preparación para el calentamiento a temperatura de compactación el material será calentado y trabajado hasta una condición de mezcla suelta. Cualquier agregado roto podrá ser removido. La estabilidad de mezclas recalentadas y recompactadas de pavimentos existentes es común que sea más alta que la original debido al endurecimiento del asfalto en servicio. El proceso de recalentamiento solo tendrá una menor influencia en el endurecimiento del asfalto.
- 6.1.3 Preparación de la Mezcla
- 6.1.3.1 Los especímenes podrán ser preparados de bachadas solas ó de bachadas múltiples que contengan suficiente material para tres ó cuatro especímenes.
- 6.1.3.2 Pesar en contenedores separados la cantidad de cada fracción de agregado requerida para producir una bachada que resultará en una, dos, tres o cuatro especímenes compactados de  $63,5 \pm 2,5$  mm de altura (cerca de 1200, 2400, 3600 ó 4800 g respectivamente). Colocar los agregados de las bachadas en contenedores sobre una placa de calentamiento ó en horno y calentar a temperatura por encima de, pero sin exceder la temperatura de mezcla establecida en 6.1.2 por más de 28 °C para mezclas con cemento asfáltico y brea y 14 °C para mezclas con asfaltos cut back. Cargar el contenedor de la mezcla con el agregado caliente y mezclar en seco con cuchara (por 5 s, aprox.) con cuchara ó pala. Formar un cráter en el agregado mezclado seco y pese la cantidad requerida de material bituminoso a la temperatura de mezcla dentro de la mezcla. Para mezclas preparadas con asfaltos cut back introducir la espátula en el bowl de mezclado y determinar el peso total de los componentes de la mezcla más el bowl y la espátula antes de proceder con el mezclado. Se debe ejercer cuidado para prevenir la pérdida de la mezcla durante el mezclado y el subsecuente manipuleo. En este punto la temperatura de la mezcla deberá estar entre los límites de aquella determinada en 6.1.2. Mezclar los agregados y el material bituminoso rápidamente hasta que estén cubiertos totalmente por 60 s para bachadas simples y por 120 s para bachadas para especímenes múltiples.
- 6.1.3.3 Acondicionar las bachadas simples en contenedores de metal cubiertos en horno a 8 °C a 11 °C por encima de la temperatura de compactación establecida en 6.1.2 para un mínimo de 1 h y máximo de 2 h.
- 6.1.3.4 Para muestras de múltiples bachadas, colocar la bachada total en una superficie limpia no absorbente. Mezcle a mano para asegurar uniformidad y cuartear a un tamaño de muestra para conformar el espécimen de altura requerida. Para cementos asfálticos y alquitrán poner las muestras en contenedores de metal cubiertos y en un horno ventilado a la temperatura establecida en 6.1.3.2 para acondicionarlos por espacio mínimo de 1 h y máximo de 2 h. Curar la mezcla de asfalto cut back en el bowl de mezclado en un horno ventilado mantenido aproximadamente a 11 °C por encima de la temperatura de compactación. El curado debe ser continuado en el bowl de mezclado hasta una pérdida



precalculada de 50% en peso del solvente. La mezcla puede ser batida en el bowl de mezclado durante el curado para acelerar la pérdida de solvente. Sin embargo se debe tener cuidado para prevenir la pérdida de mezcla. Pesar la mezcla durante el curado a intervalos consecutivos de 15 min inicialmente y menos de 10 min conforme se aproxima al peso de la mezcla con el 50% de pérdida de solvente.

- 6.1.3.5 Otros materiales bituminosos ó producidos en planta pueden requerir técnicas especiales de curado.

**Nota 5.** Calentar las mezclas por un periodo de tiempo antes de la compactación puede resultar en especímenes que tengan propiedades diferentes de aquellos que son compactados inmediatamente después de su mezclado (el criterio Marshall Original está basado en un procedimiento sin curado).

- 6.1.4 Compactación de los Especímenes:

- 6.1.4.1 Limpiar completamente el molde ensamblado y la cara del martillo de compactación y calentarlos ambos en agua hirviendo en horno ó en una placa calentadora a temperatura entre 90 y 150 °C. Colocar un pedazo de papel no absorbente cortado del tamaño de la base del molde antes de introducir la mezcla. Colocar la mezcla en el molde, chusear vigorosamente la mezcla con una espátula calentada 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Colocar otra pieza de papel no absorbente para que encaje en la parte superior de la mezcla. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá estar entre los límites de las temperaturas de compactación establecida en 6.1.2.

- 6.1.4.2 Colocar el molde ensamblado en el pedestal de compactación con el sujetador y aplicar el número requerido de golpes con el martillo especificado de compactación. Remover la placa de base y el collar y voltear y reensamble el molde. Aplicar el mismo número de golpes de compactación en la cara reversa del espécimen. Después de la compactación, remover el collar y la placa de base. Permitir que el espécimen se enfríe lo suficiente para prevenir algún daño y extraer el espécimen de su molde. El enfriar los especímenes en el molde puede ser facilitado por su inmersión en agua fría. Para facilitar la extracción, el molde y el espécimen pueden ser brevemente sumergido en agua en un baño de agua caliente para calentar el molde de metal y reducir la distorsión del espécimen. Cuidadosamente transfiera el espécimen a una superficie suave y plana y permita que se enfríe a temperatura de sala (puede ser toda la noche). Se puede emplear también un ventilador para facilitar el enfriado.

- 6.1.4.3 Cuando se lleva a cabo la compactación con el martillo operado manualmente, coger el eje del martillo con la mano tan cerca de la perpendicular de la base del molde ensamblado como sea posible. En este procedimiento original Marshall ningún aparato mecánico de cualquier tipo debe ser empleado para restringir el manubrio del martillo en posición vertical durante la compactación.

**Nota 6.** El vástago del martillo debe ser limpiado y aceitado ligeramente.

- 6.1.5 Ensayo de Estabilidad y Flujo.

- 6.1.5.1 Se ensayarán un mínimo de 03 especímenes que tendrán el mismo tipo de agregado, calidad y gradación, el mismo tipo y cantidad de filler, y la misma fuente de ligante, grado y cantidad. Además tendrán la misma preparación: temperatura, compactación y enfriamiento.

- 6.1.5.2 Los especímenes deberán enfriarse a temperatura ambiente después de la compactación. Durante el enfriamiento serán colocados sobre una superficie suave y plana. Se determinará el peso específico bulk de cada espécimen por el método D2726. Los pesos específicos bulk de los especímenes para cada contenido de ligante estarán dentro de  $\pm 0,020$  del promedio tal como se indica en D 6926.

- 6.1.5.3 Medir el espesor de los especímenes de acuerdo a MTC E 507.



- 6.1.5.4 Los especímenes podrán acondicionarse para su ensayo tan pronto alcancen la temperatura ambiente. Los ensayos se completarán dentro de las 24 h de haberse compactado los especímenes. Llevar los especímenes a la temperatura especificada por inmersión en agua de 30 a 40 min. O colocarlos en horno de 120 a 130 min.
- 6.1.5.5 Mantener el baño u horno a  $60 \pm 1$  °C para cemento asfáltico,  $49 \pm 1$  °C para alquitrán con caucho y  $38 \pm 1$  °C para alquitrán.
- 6.1.5.6 Llevar los especímenes preparados con asfalto líquido a temperatura colocándolos en el baño de aire por 120 a 130 min. Mantener el baño de aire a  $25 \pm 1$ °C.
- 6.1.5.7 Limpiar completamente las líneas guías y el interior de las superficies del cabezal antes de ejecutar el ensayo. Lubricar las líneas guías de tal manera que el segmento superior del cabezal se deslice libremente sobre ellas. El cabezal deberá estar a temperatura de 20 a 40 °C. Si se emplea el baño de agua, limpiar el exceso de agua del interior de los segmentos del cabezal.
- 6.1.5.8 Remover un espécimen del agua, horno ó baño de aire (en caso del baño de agua remover el exceso con una toalla) y colocarlo en el segmento inferior del cabezal. Colocar el segmento superior sobre el espécimen y colocar el conjunto completo en la máquina de carga. Si se usa, colocar el flujómetro en posición sobre una de las líneas guías y ajustarlo acero mientras se sostiene firmemente contra el segmento superior del cabezal mientras el ensayo se está ejecutando.
- 6.1.5.9 El tiempo desde la remoción del espécimen del baño a la determinación de la carga máxima no debe exceder los 30 segundos. Aplicar la carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min. Hasta que la carga decrezca según lo indique el dial de carga. Registrar la máxima carga indicada en la máquina de carga ó convertirla de la lectura máxima del dial micrómetro como estabilidad Marshall. Liberar el flujómetro ó anotar la lectura del dial micrómetro en el instante en que la máxima carga empieza a decrecer. El valor del flujo normalmente se da en unidades de 0,25 mm. Este procedimiento pueda que requiera de dos personas para conducir el ensayo y registrar los datos.

## 7.0 CALCULOS E INFORME

### 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Los especímenes moldeados en laboratorio deberán satisfacer los requerimientos de espesor de  $63,5 \pm 2,5$  mm. Los especímenes dentro de la tolerancia de espesor pueden ser corregidos basados en el volumen del espécimen. Las estabilidades determinadas en núcleos extraídos de campo con amplios rangos de variación de espesor también serán corregidas. Sin embargo los resultados con correcciones mayores deberán ser empleados con precaución. Ver la tabla 1 para los factores de corrección. La razón de correlación es empleada de la siguiente manera:

$$A = B \times C$$

Donde:

- A = Estabilidad corregida.
- B = Medida de la estabilidad (carga).
- C = Razón de correlación de la tabla 1.

### 7.2 INFORME

- 7.2.1 Identificación de la muestra (número, si es mezcla de laboratorio ó de planta ó núcleo del pavimento).
- 7.2.2 Tipo de material bituminoso, fuente y grado.
- 7.2.3 Tipos de agregado, fuente y gradación.
- 7.2.4 Tipo y tiempo de curado antes de la compactación.

- 7.2.5 Tipo de martillo (sostenido manualmente, ó fijo, mecánicamente ó manualmente operado, pie de martillo plano ó sesgado).
- 7.2.6 Número de golpes por lado.
- 7.2.7 Temperatura de mezclado.
- 7.2.8 Temperatura de Compactación.
- 7.2.9 Tipo y tiempo de curado.
- 7.2.10 Peso específico bulk individual y promedio.
- 7.2.11 Altura de cada espécimen de prueba en milímetros aproximación de 0,25 mm.
- 7.2.12 Valores individuales y promedio de la estabilidad Marshall (corregidos y sin corregir, si se requiere) aproximación de 50 N.
- 7.2.13 Valores individuales y promedio del flujo Marshall en unidades de 0,25 mm.
- 7.2.14 Temperatura del Ensayo de estabilidad y flujo.

**TABLA 1. Factores de Estabilidad de Correlación <sup>A</sup>**

Volumen del espécimen, cm <sup>3B</sup>	Espesor del espécimen <sup>B</sup>		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	29,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,60 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

<sup>A</sup> Mide la estabilidad del espécimen multiplicado por la relación para el espesor de la muestra es igual a la estabilidad corregida para 2 1/2" (63,5 mm) del espécimen.

<sup>B</sup> La relación Volumen-espesor se basa en un diámetro de la probeta de 4" (101,6 mm)

## 8.0 PRECISION Y DISPERSION

### 8.1 PRECISIÓN

8.1.1 No se aplica una regla de precisión para esta práctica. Los especímenes deberán ser aceptados ó rechazados por otros ensayos basados en requerimientos del criterio que está siendo aplicado. Para la determinación de la estabilidad y flujo Marshall de acuerdo a la Práctica D 6926, emplee solo aquellos especímenes replicados que tienen peso específico bulk dentro de  $\pm 0,02$  de su promedio.

**Nota 7.** Para dos especímenes preparados por laboratorios participantes en un programa de ensayo AMRL, un solo operador 1s y la deferencia aceptable de dos resultados, d2s, para el peso específico bulk fue de 0,007 y 0,020 respectivamente. Los resultados de estos ensayos se encuentran disponibles como un reporte de investigación.

## Anexo F. MTC E 508: Peso Específico Teórico Máximo de mezclas asfálticas para pavimentos



### MTC E 508

#### PESO ESPECIFICO TEORICO MAXIMO DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA PAVIMENTOS

##### 1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimento sin compactar. El método incluye también una versión de ensayo rápido para determinar el peso específico relativo, que puede emplearse en un laboratorio de terreno o de planta.

##### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Los pesos específicos teóricos máximos y las densidades de mezclas bituminosas para pavimentación son ambas propiedades fundamentales cuyos valores son influenciados por la composición de la mezcla en términos de tipos y cantidades de agregados y materiales bituminosos.
- 2.2 El peso específico máximo es empleado en el cálculo de vacíos de aire en mezclas compactadas, así también para el cálculo de la cantidad de bitumen absorbido por el agregado, y finalmente para proveer valores referenciales para la compactación de mezclas empleadas en pavimentación.

##### 3.0 REFERENCIA NORMATIVA

- 3.1 ASTM D 2041: "Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures".
- 4.0 AASHTO T 209: "Standard Method of Test for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Hot Mix Asphalt Paving Mixtures".

##### 5.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

###### 5.1 EQUIPOS

- 5.1.1 Recipiente. Se describen cuatro variantes de la técnica de saturación al vacío, empleando recipientes de diferentes tamaños y de un diseño funcional distinto.

- Tipo A. Una taza de vidrio, plástico o de metal con una capacidad de por lo menos 2000 mL.
- Tipo B. Un frasco volumétrico con una capacidad de por lo menos 2000 mL.
- Tipo C. Un picnómetro de pared gruesa de vidrio de tamaño intermedio que tenga una Capacidad de aproximadamente de 4000 mL.
- Tipo D. Un picnómetro de plástico de tamaño grande que tenga una capacidad de por lo menos 4000 mL.

El tamaño del recipiente depende de los requerimientos para el tamaño mínimo de la muestra dados en el numeral 5. Los recipientes deberán ser suficientemente fuertes para resistir un vacío esencialmente completo y deberán tener tapas en la siguiente forma

- Una tapa ajustada con empaquetadura de caucho y manguera de conexión, para emplear con la taza Tipo A.
- Un tapón de caucho con una manguera de conexión, para emplear con el frasco volumétrico Tipo B.
- Un conjunto adecuado de conexión de vacío consistente de un medidor de vacío, válvula de alivio, y tubo de conexión, además de un dispositivo de tapón para mantener regulación consistente del volumen, para emplear con el picnómetro Tipo C o D.

Una pequeña pieza de malla fina de alambre que cubra la abertura de la manguera, disminuirá la posibilidad de pérdida de material fino. A causa del peso involucrado, aproximadamente 20 kilogramos, el recipiente para el picnómetro de mayor tamaño (Tipo D) deberá estar equipado con manijas adecuadas para facilitar el transporte y la agitación

mientras se halla bajo vacío y para ayudar a la eliminación de burbujas. La construcción deberá permitir la observación visual de los efectos del vacío y de la agitación.

**Nota 1.** La sección del fondo de una olla de capacidad de 1,4 litros (1,5 cuartos de galón) de vidrio de borosilicato constituye una taza satisfactoria (Tipo A)

**Nota 2.** Se ha hallado que el plástico policarbonado es un material adecuado, cuando se fabrica apropiadamente, para picnómetros de plástico de tamaño grande (Tipo D). Los ensayos han mostrado que este es seguro para emplear bajo vacío esencialmente completo dentro de un intervalo de temperatura desde 15 hasta 80° C.

- 5.1.2 Balanza. Debe tener capacidad amplia y sensibilidad suficiente para que el peso específico de muestras de mezclas no compactadas de pavimento pueda ser calculado al menos con cuatro cifras significativas (3 decimales). Para el método de la taza (Tipo A), la balanza deberá estar equipada con un dispositivo sostenedor adecuado de suspensión que permita pesar la muestra mientras se halle suspendida del centro del platillo de la balanza.

**Nota 3.** Puesto que no hay más cifras significativas en el cociente (peso específico) de las que aparecen ya sea en el dividendo (peso de la muestra en el aire) o en el divisor (el peso del agua desalojada), esto significa que la balanza debe tener una capacidad de lectura que proporcione pesos con al menos cuatro cifras. Recomendaciones específicas son:

Una balanza que pueda pesar 1500 g con precisión de 0,1 g para la taza de 1000 mL (Tipo A) o para el frasco (Tipo B); una balanza que pueda pesar 10 kg con precisión de 0,5 g para el picnómetro de vidrio de 4000 mL (Tipo C); una balanza que pueda pesar 20 kg con precisión de 1 g para el picnómetro plástico de 10000 mL (Tipo D).

- 5.1.3 Bomba de vacío o aspirador de agua. Debe ser tal que pueda evacuar el aire del recipiente hasta una presión residual de 4,0 kPa (30 mm de Hg) o menos. (Preferiblemente de cero) Puede emplearse un aspirador de agua o bomba de vacío con menor capacidad para la versión rápida del ensayo (Apéndice A).

- 5.1.4 Manómetro o medidor de vacío. Será adecuado para medir el vacío especificado.

- 5.1.5 Baño con agua. Para los tipos A y B o para los recipientes de Tipo C, deberá emplearse un baño de temperatura constante (entre 20 y 30° C) de tamaño adecuado al recipiente. Para los picnómetros plásticos de tamaño grande, Tipo D, no se necesita baño de agua.

Cuando se emplea la técnica de pesar dentro del agua (6.2.4), se necesita un baño de agua para la inmersión del recipiente suspendido y de la muestra desaireada.

- 5.1.6 Equipo misceláneo. Se recomienda un dispositivo adecuado (frasco Erlenmeyer) instalado en la línea para evitar que el agua entre a la bomba de vacío. Igualmente, el uso de un grifo de giro de plástico, en la línea adyacente al frasco o al picnómetro, disminuirá la pérdida del agua durante la agitación y proporcionará una desconexión rápida en caso de que se forme espuma o de funcionamiento deficiente. Para emplear con recipientes de vidrio, se requiere una esterilla de caucho o de plástico resistente como precaución de seguridad para evitar impacto sobre una superficie dura mientras están bajo vacío.

## 6.0 MUESTRA

- 6.1 El tamaño de la muestra deberá estar de acuerdo con los siguientes requerimientos.

Muestras mayores que la capacidad del recipiente pueden ensayarse en una porción cada vez.

Tamaño de la partícula de mayor tamaño en la muestra Mm(pulg)	Muestra mínima (g)
50,0 (2)	6000
37,5 (1 1/2)	4000
25,0 (1)	2500
19,0 (3/4)	2000



Tamaño de la partícula de mayor tamaño en la muestra $M_m$ (pulg)	Muestra mínima (g)
12,5 (1/2)	1500
9,5 (3/8)	1000
4,75 N° 4)	500

## 7.0 PROCEDIMIENTO

### 7.1 CALIBRACION DEL FRASCO Y DE LOS PICNOMETROS

7.1.1 Calíbrese el frasco volumétrico (Tipo B) determinando adecuadamente el peso del agua a  $25 \pm 0,5$  C requerido para llenarlo exactamente, lo cual debe asegurarse mediante el empleo de una placa de vidrio que sirve de cubierta.

Para el método de pesar en agua (numeral 6.2.4), debe calibrarse el frasco (Tipo B) para permitir el ajuste por temperatura determinando su peso sumergido en agua en el intervalo de las temperaturas del baño que probablemente se encontrarán en servicio, como se muestra en la Figura 1.

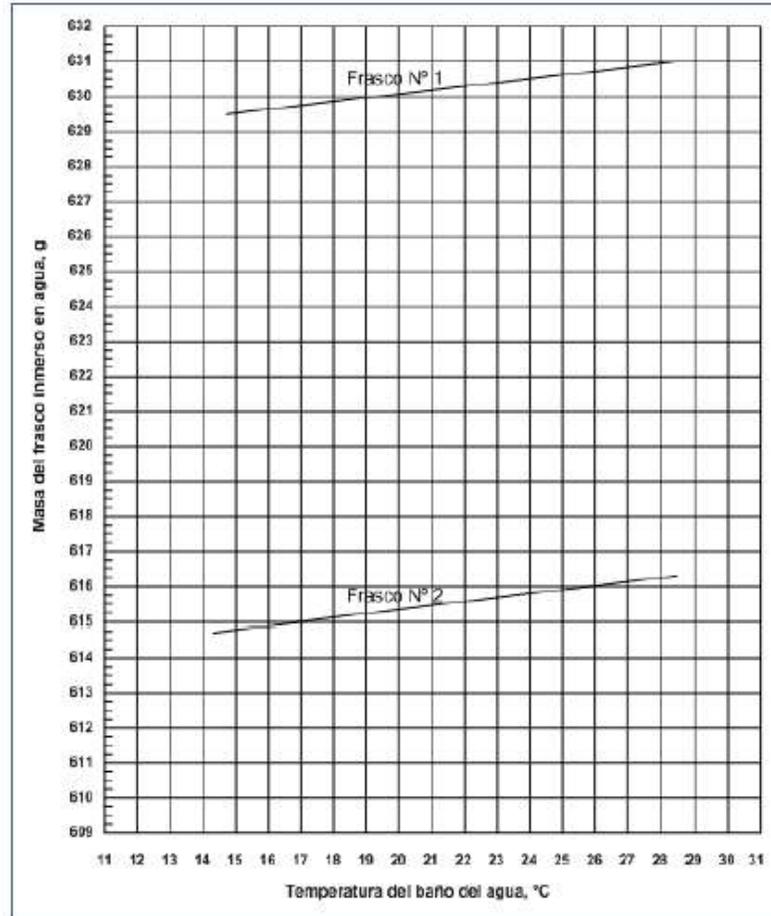
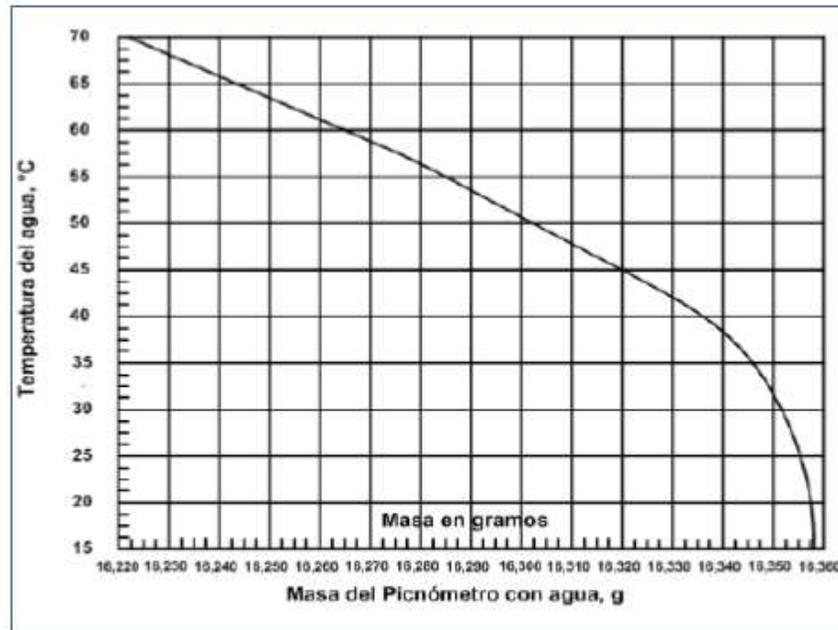


Figura 1. Ejemplo de curva de calibración para un frasco volumétrico

7.1.2 Calíbrese el picnómetro de pared gruesa de vidrio o de metal (Tipo C) determinando exactamente el peso del agua a  $25 \pm 0,5^\circ$  C requerida para llenarlo.

Permitase que algo del agua rebose a través del tubo capilar mientras se inserta el tapón. Asegúrese de que el tubo capilar esté lleno hasta la parte superior y que no se presenten burbujas de aire después de que el picnómetro de vidrio se mantenga sumergido en el baño de agua de temperatura constante durante una hora.

- 7.1.3 Calibre el picnómetro plástico de tamaño grande (Tipo D) determinando exactamente el peso del agua requerido para llenarlo en un rango de temperatura de 20 a 65°C y elabórese una curva de calibración de peso contra temperatura como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Ejemplo de curva de calibración para el picnómetro D

Debe tenerse cuidado de seguir exactamente el mismo procedimiento para la calibración que el seguido para el ensayo. El tapón en forma de domo se cierra y se coloca en el picnómetro (Tipo D) casi lleno con agua. Déjense sin llenar alrededor de 50 milímetros. Debe facilitarse la expulsión de las burbujas de aire aplicando vacío y sacudiendo, dejando caer el picnómetro primero sobre un lado y luego sobre el otro (Tipo D) alrededor de 10 mm sobre la superficie del banco.

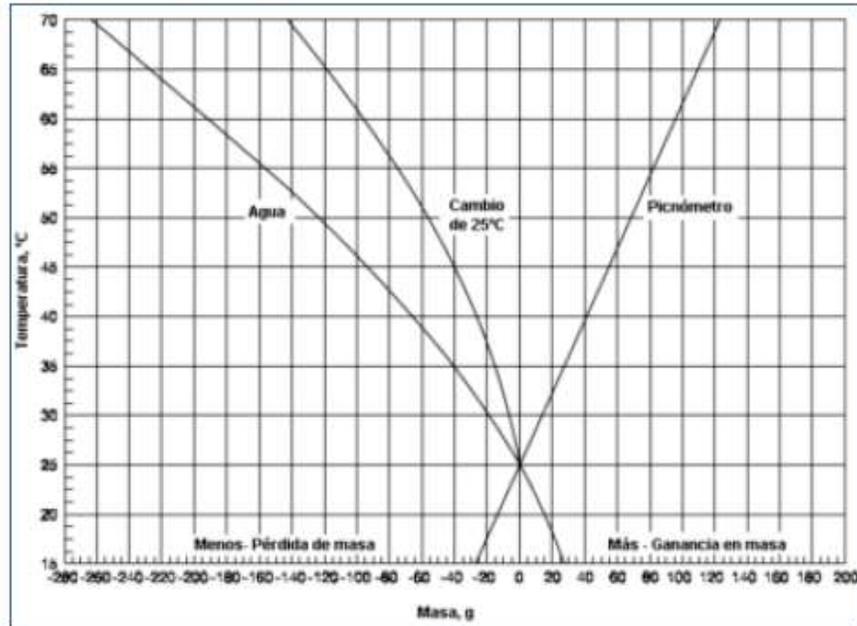
Esta aplicación de vacío y el procedimiento de eliminar burbujas deberán tomar alrededor de 10 minutos, de tal manera que el equilibrio de temperatura entre la cubierta y el agua se aproxime a la que se tenga durante la ejecución del ensayo.

El agua final es entonces vertida suavemente hasta que el nivel se halle alrededor de la mitad del cuello. Todas las burbujas de aire recogidas contra el domo que no pudieran eliminarse mediante sacudidas o giros del agua deben deshacerse o empujarse hacia la superficie con un alambre doblado. Insértese el tapón con ventilación empleando fuerza suficiente apenas para asentarlos e inmediatamente, límpiase el exceso de agua de la parte superior.

El exterior del picnómetro (Tipo D) se seca entonces, se pesa el picnómetro completo y se mide la temperatura del agua. Se expende (recta de incremento de peso del picnómetro Figura 3)

**Nota 4.** La forma de la curva de calibración es una función de dos factores opuestos que pueden definirse racionalmente. A medida que la temperatura aumenta, el recipiente mismo se expande (se agrega peso a la línea de picnómetro de la Figura 3) y disminuye el peso

unitario del agua contenida (resultando pérdida de peso en la "curva del agua" en la Figura 3). Estas relaciones se muestran en la Figura 3 para un picnómetro típico de tamaño grande (Tipo D). La "curva" para el agua puede construirse multiplicando el volumen a 25 °C por la diferencia entre el peso unitario del agua a 25 °C, el cual es 0,9970, y el correspondiente a la temperatura de calibración.



**Figura 3.** Efecto del cambio en densidad del agua y volumen del picnómetro (D) con el cambio de temperatura.

Diferencia debida a la expansión del agua =  $V_{25} (0,9970 - d_w)$

$$\text{Puesto que } V_{25} = \frac{W_{25}}{0,9970}$$

$$V_{25} (0,9970 - d_w) \text{ se reduce a } W_{25} \left[ 1 - \frac{d_w}{0,9970} \right]$$

Donde:

$$W_{25} = \frac{d_w}{0,9970}$$

Donde:

$V_{25}$  = Volumen de agua para llenar el recipiente a 25 °C, cm<sup>3</sup>.

$W_{25}$  = Peso de agua para llenar el recipiente a 25 °C g.

$d_w$  = Peso unitario del agua a la temperatura de calibración Mg/m<sup>3</sup>.

La velocidad de cambio en la capacidad del recipiente debido a la expansión térmica del picnómetro mismo es esencialmente constante dentro del intervalo de temperatura de 20 a 65 °C. De esta manera, la línea del picnómetro en la Figura 3 puede dibujarse de 0 a 25 °C conociendo únicamente la relación de pendiente de la línea recta. La pendiente puede

establecerse promediando al menos 5 pesadas de calibración a alguna temperatura elevada, agregando la pérdida debida la expansión del agua y quitando el peso a 25 °C,  $W_{25}$ , para proporcionar la ganancia en capacidad debida a la expansión del recipiente. La diferencia en el peso dividida entre la diferencia en la temperatura es la pendiente de la línea del picnómetro. Para un picnómetro policarbonado de alrededor de 13500 mL de capacidad, la pendiente establecida así fue de 2,75 g/°C. Se considera que esta es típica y razonablemente constante.

La inclinación de la curva de calibración (Figura 2) debida a estos factores térmicos compensatorios disminuye así el error experimental debido a los efectos de temperatura en el intervalo normal de trabajo, 25 °C, tanto para los frascos volumétricos (Tipo B), como para los recipientes picnómetros (tipos C y D). La definición de la curva de calibración hace posible corregir por temperatura en lugar de "llevar a una temperatura", eliminando en esta forma el costo del baño de agua y haciendo factible mejorar la precisión para ensayar muestras más grandes y para reducir el tiempo del ensayo.

7.1.4 Mientras que la calibración del frasco (Tipo B) o de cualquiera de los picnómetros (tipos C ó D) necesita efectuarse tan solo una vez, la calibración deberá comprobarse ocasionalmente, particularmente a 25 °C. El equipo debe mantenerse limpio y libre de cualquier acumulación que pueda cambiar el peso del volumen de calibración si este ha de mantenerse constante. Debe tenerse cuidado de emplearse solventes adecuados, especialmente con recipientes plásticos y los vasos de vidrio no deberán someterse a un vacío elevado si se han rayado o han sufrido cualquier clase de daño.

## 7.2 PROCEDIMIENTO PROPIAMENTE DICHO:

7.2.1 Sepárense las partículas de la muestra teniendo cuidado de no fracturar las partículas minerales, de tal manera que las de la porción fina del agregado no sean mayores de 6,3 mm. Si la mezcla no está suficientemente floja para separarla manualmente, colóquesela en una cubeta grande y plana y caliéntese en un horno hasta que pueda manipularse. Véase también el Apéndice A para el manejo manual alternativo posible, con el picnómetro plástico de tamaño grande (Tipo D).

7.2.2 Enfríese la muestra hasta la temperatura ambiente, colóquese en un recipiente y pésese. Désígnese el peso neto de la muestra como A, agréguese agua suficiente aproximadamente a 25 °C para cubrir la muestra. Con el picnómetro plástico de tamaño grande (Tipo A, B, C, D), la muestra no tiene que ser enfriada y el agua agregada a cualquier temperatura conveniente puede llevarse hasta alrededor de la mitad del domo de la tapa para disminuir el tiempo de evacuación.

7.2.3 Remuévase el aire atrapado sometiendo todos los contenidos a un vacío parcial de 30 mm de Hg (4 kPa) o menor de presión absoluta, durante un período de 5 a 15 minutos (véase numeral 5). Un vacío parcial de 4 kPa (30 mm de Hg) de presión absoluta es aproximadamente equivalente a 730 mm de Hg de lectura sobre un medidor de vacío al nivel del mar. Agítese el recipiente con los contenidos, ya sea continuamente mediante un dispositivo mecánico o manualmente mediante agitación vigorosa, a intervalos de alrededor de dos minutos. Los vasos de vidrio deben manipularse sobre una superficie resistente, tal como caucho o esterilla plástica, y no sobre una superficie dura, para evitar impacto mientras esta bajo vacío.

El vacío puede aplicarse y disminuirse gradualmente empleando la válvula de sangría.

**Nota 5.** Mezclas pobres requieren menor tiempo y ricas pueden requerir mayor tiempo o agitación, o ambos. En general, es mejor requerir un mínimo de tiempo para disipar todo el aire libre. Tiempo adicional puede inducir a error debido al agua adquirida bajo la superficie asfáltica (numeral 8). Para una mezcla dada, puede establecerse el óptimo del tiempo mediante una reducción tentativa de tanteo del tiempo de ensayo hasta que una reducción posterior produzca pesos específicos más bajos.

- 7.2.4 Inmediatamente después de la remoción del aire atrapado (numeral 6.2.1), procédase a una de las siguientes determinaciones:

Peso en agua. Suspéndase el recipiente que se esté utilizando con su contenido, sea la cubeta (Tipo A) o el frasco (Tipo B), dentro del baño de agua y determínese su peso después de una inmersión de  $10 \pm 1$  minuto. Mídase la temperatura del baño y si fuere diferente de  $25 \pm 1$  °C, corrijase el peso a 25 °C empleando el ajuste por temperatura de calibración desarrollado en el numeral 6.1.1. Designese el peso neto de la muestra en el agua a 25° C como C.

Mediciones con el picnómetro a 25 °C. Llénese el frasco (Tipo C) o el picnómetro (Tipo D, E, ó F,) con agua y llévense sus contenidos a una temperatura de  $25 \pm 1$  °C en el baño de agua. Determínese el peso de recipiente C y los contenidos, completamente llenos de acuerdo con el numeral 6.1.2,  $10 \pm 1$  minuto después de completar lo dispuesto en el numeral 6.2.3. Designese este peso como E.

Picnómetro plástico de tamaño grande (Tipo I). Llénese el picnómetro con agua de aproximadamente la misma temperatura que los contenidos, insértese el tapón con respiradero y séquese el exterior empleando la misma técnica que en el numeral 6.1.3. El tiempo transcurrido para verter suavemente el agua final y para el secamiento debe ser el mismo que el tiempo de calibración dentro de  $\pm 1$  minuto. Determínese el peso del picnómetro completamente lleno y designese este peso total como G. Remuévase el tapón ventilado y regístrese la temperatura del agua.

## 8.0 CALCULOS E INFORME

### 8.1 CALCULOS

- 8.1.1 Calcúlese el peso específico de la muestra en la siguiente forma:

Peso en el agua.

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{(A - C)} \quad 1)$$

Donde:

- A = Peso de la muestra seca al aire, g.
- C = Peso de la muestra en agua, g.

Determinación con el picnómetro a 25 °C.

$$\text{Peso en el aire} = \frac{A}{(A + D - E)} \quad (2)$$

Donde:

- A = Peso de la muestra seca en el aire, g.
- C = Peso del recipiente lleno con agua a 25° C, g.
- E = Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25° C, g.

Determinaciones con el picnómetro plástico de tamaño grande Tipo D. Si la temperatura de ensayo está dentro de  $+ 1,7$  o  $-2,8$ °C de 25° C), esto es entre 22,2 y 26,7 °C, puede emplearse la ecuación (2) para calcular el peso específico dentro de 0,001 o menos de error debido a efectos de temperatura.

Si la temperatura de ensayo difiere significativamente de 25 °C, corrijase por efectos de temperatura en la siguiente forma:

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{[(A + F) - (G + H)]} \times \frac{dw}{0,9970} \quad (3)$$

Donde:



PERU

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

Viceministerio  
de Transportes

Dirección General  
de Caminos y  
Ferrocarriles

- A = Peso de la muestra seca al aire, g.
- F = Peso del picnómetro (Tipo F) lleno con agua a la temperatura de ensayo (Figura 2),
- G = Peso del picnómetro (Tipo F) lleno con agua y muestra a la temperatura de ensayo,
- H = Corrección por expansión térmica del asfalto (Figura 4), g.
- $d_w$  = Peso unitario del agua a la temperatura de ensayo. Curva D en la Figura 5. Mg/m<sup>3</sup>
- 0,9970 = Peso unitario del agua a 25 °C, Mg/m<sup>3</sup>.

La relación ( $d_w/0,9970$ ) se halla en la curva R de la Figura 5.

**Nota 6.** Este procedimiento general para corregir los efectos por temperatura, deberá aplicarse también a las mediciones correspondientes efectuadas con otros recipientes adecuados.

#### 8.1.2 PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO PARA MEZCLAS QUE CONTENGAN AGREGADOS QUE NO ESTAN COMPLETAMENTE CUBIERTOS

8.1.2.1 Si los poros de los agregados no están completamente sellados por una película asfáltica, pueden llegar a saturarse con agua durante el procedimiento de evacuación. Para determinar si esto ha ocurrido, procédase como sigue después de completar el procedimiento de acuerdo con el numeral 6.2.4. Dréñese el agua de la muestra para evitar la pérdida de partículas finas, decántese el agua a través de una toalla sostenida sobre la parte superior del recipiente. Rómpanse varias piezas grandes del agregado y examínese la superficie rota en cuanto a humedad.

8.1.2.2 Si el agregado ha absorbido agua, remuévase la humedad de la superficie, esparciendo la muestra delante de un ventilador eléctrico. Pésese a intervalos de 15 minutos y cuando la pérdida del peso sea menor de 0,05% para este intervalo, deberá considerarse que la muestra está con la superficie seca. Este procedimiento requiere alrededor de 2 horas y debe acompañarse de agitación intermitente de la muestra. Rómpanse a mano los terrones de mezcla. Téngase cuidado de evitar la pérdida de partículas de la mezcla.

8.1.2.3 Para calcular el peso específico de la muestra, sustitúyase el peso final con superficie seca por A en el denominador, de las ecuaciones (1), (2) o (3).

#### 8.2 INFORME

8.2.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

Peso específico de la mezcla, con tres decimales así: peso específico 25/25 °C.

- Tipo de mezcla.
- Tamaño de la muestra.
- Número de muestras.
- Tipo de recipiente.
- Tipo de procedimiento.

## Anexo G. MTC E 515: Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo Cántabro de Pérdida por desgaste



### MTC E 515

#### CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE

##### 1.0 OBJETO

- 1.1 Describir el procedimiento para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas empleando la máquina de Los Ángeles.

##### 2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El procedimiento se puede emplear tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio, como para el control en obra de las mismas.
- 2.2 Se aplica a las mezclas asfálticas en caliente, a las mezclas porosas o de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm.
- 2.3 El ensayo permite valorar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

##### 3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 Norma Técnica Española NLT 352: "Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo de cántabro de pérdida por desgaste".

##### 4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

###### 4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Equipo de compactación. Formado por el molde, collar, placa de base y maza de compactación, que emplea el ensayo de Marshall.
- 4.1.2 Máquina de Los Ángeles. La máquina para ensayo de desgaste de Los Ángeles tendrá las características indicadas en la norma MTC E 207.
- 4.1.3 Termómetros. Para medir las temperaturas de los agregados, ligante y mezcla asfáltica, se emplearán termómetros metálicos, con escala hasta 200 °C y sensibilidad de 3 °C. Para la medida de la temperatura a la que se realiza el ensayo, se utilizará un termómetro con escala 0 a 40 °C y sensibilidad de 0,5 °C.
- 4.1.4 Balanzas. Una balanza de 2 kg de capacidad y 0,1 g de sensibilidad para pesar las probetas y otra de 5 kg de capacidad y 1 g de sensibilidad para la preparación de las mezclas.
- 4.1.5 Cámara termostática. Para mantener constante la temperatura durante el ensayo, se deberá disponer de una cámara o recinto capaz de alojar la máquina de Los Ángeles y en la que la temperatura de ensayo pueda regularse con un error máximo de  $\pm 1$  °C.
- 4.1.6 Material general. Bandejas, recipientes, espátulas, guantes de amianto, lápices grasos, cogedores curvos, discos de papel de filtro, etc.

##### 5.0 MUESTRA

- 5.1 Número de probetas. Se preparará un mínimo de cuatro probetas para cada contenido de ligante ensayado.
- 5.2 Preparación de los agregados. Las distintas fracciones de agregados que componen la mezcla se secan en estufa hasta peso constante a una temperatura de 105 a 110 °C.
- 5.3 Temperaturas de mezcla y compactación. Las temperaturas del ligante en la mezcla y compactación de las probetas, serán las adecuadas para hacer compatible una buena envuelta sin que se produzca escurrimiento. Como criterio orientativo, se pueden elegir las temperaturas que se prescriben, según viscosidad, en la norma sobre el ensayo Marshall.



- 5.4 Preparación de mezclas. Se pesan sucesivamente en un recipiente tarado las cantidades de cada fracción de los agregados necesarias para la fabricación de una probeta, de tal modo que la cantidad total de agregados sea de 1,000 g. El resto del proceso de preparación coincide con el indicado en la norma, para la fabricación de las probetas Marshall.
- 5.5 Compactación de las mezclas. La energía de compactación será de 50 golpes por cara, empleando el equipo y procedimiento de compactación descritos en la norma Marshall.
- 5.6 Densidad y análisis de vacíos. Una vez desmoldadas las probetas, se determina su densidad y contenido de vacíos a partir de la medida geométrica de su volumen y densidad relativa de los materiales, según la norma MTC E 505.

#### 6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 En general, la temperatura de ensayo estará comprendida entre 15 y 30 °C, con una tolerancia máxima de ±1°C.
- 6.2 Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota este valor, P<sub>1</sub>. Antes de ensayarlas, las probetas se mantienen a la temperatura de ensayo un mínimo de seis horas.
- 6.3 Se introduce a continuación una probeta en el bombo de la máquina de Los Ángeles y sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en las normas MTC E 207 (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.
- 6.4 Al final del ensayo, se saca la probeta y se pesa de nuevo con la misma aproximación de 0,1 g, anotando este valor como P<sub>2</sub>.
- 6.5 El ensayo se repite de forma idéntica con cada una de las probetas análogas preparadas según 4.1

#### 7.0 CALCULOS E INFORME

##### 7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

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

Donde:

- P = Valor de la pérdida por desgaste, en %
- P<sub>1</sub> = Masa inicial de la probeta, en gramos.
- P<sub>2</sub> = Masa final de la probeta, en gramos.

- 7.1.2 Se calcula el valor medio de todas las probetas análogas ensayadas según 5

##### 7.2 INFORME

- 7.2.1 Informar la pérdida media por desgaste (%) y la temperatura de ensayo.

**Anexo H. Informe Técnico del diseño patrón de mezcla asfáltica en  
caliente – control de calidad**

**INFORME TÉCNICO DE DISEÑO PATRÓN  
DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE  
LABORATORIO - CONTROL DE CALIDAD**

**PROYECTO:**

**TESIS: "INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE  
CAUCHO RECICLADO EN LOS PAVIMENTOS DE UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA LA CIUDAD DE  
CAJAMARCA"**

**SOLICITANTE: BACH. HÉCTOR ISAAC AYALA HOYOS**

**SETIEMBRE 2022**

Revisión	Elaborado Por	Descripción	Fecha	Revisado	Aprobado
0	Darwin Castillo	Informe Técnico de Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente	14.09.2022		
COMENTARIOS:					

INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
.....  
Darwin Grabiell Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

## ÍNDICE

<b>DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.....</b>	<b>3</b>
1. Introducción.....	3
2. Generalidades .....	3
3. Especificaciones de los componentes.....	3
4. Especificaciones de la mezcla asfáltica.....	6
5. Diseño de Mezcla Asfáltica.....	7
6. Conclusiones y/o recomendaciones.....	11
7. Panel fotográfico .....	12

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Requerimientos para los Agregados Gruesos.....	<b>3</b>
<b>Tabla 2.</b> Requerimientos para los Agregados Finos .....	<b>4</b>
<b>Tabla 3.</b> Huso granulométrico D5 – ASTM D 3515.....	<b>4</b>
<b>Tabla 4</b> Tipo de Cemento Asfáltico Clasificado según Penetración.....	<b>5</b>
<b>Tabla 5.</b> Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Penetración.....	<b>5</b>
<b>Tabla 6.</b> Requisitos para Mezcla Asfáltica en Caliente .....	<b>6</b>
<b>Tabla 7.</b> Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA).....	<b>6</b>
<b>Tabla 8.</b> Proporción de agregados de diseño .....	<b>7</b>
<b>Tabla 9.</b> Combinación teórica de agregados para la mezcla asfáltica en caliente .....	<b>7</b>
<b>Tabla 10.</b> Resultados de control de calidad del agregado grueso.....	<b>8</b>
<b>Tabla 11.</b> Resultados de control de calidad del agregado fino .....	<b>9</b>
<b>Tabla 12.</b> Propiedades de la Mezcla Asfáltica de Diseño Marshall.....	<b>10</b>
<b>Tabla 13.</b> Dosificación de agregaos e insumos .....	<b>11</b>
<b>Tabla 14.</b> Rangos de temperaturas de trabajo. ....	<b>11</b>



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE  
PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin *Grabiell Castillo Neyra*  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

## DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

### 1. Introducción

Este informe tiene por objetivo presentar los estudios y resultados de los ensayos de los materiales que serán utilizados para el diseño de la mezcla asfáltica, elaborada de acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción del MTC-EG2013 y Norma CE 010. Pavimentos Urbanos.

### 2. Generalidades

El diseño de mezcla asfáltica en caliente fue desarrollado por la empresa INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS en el laboratorio de suelos, concreto y asfalto ubicado en Cal. Parcela la Capitana - Sara Lote 8 C.C. Jicamarca (Urb. La Florida - Cajamarquilla); para el proyecto denominado **Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"**, ha pedido del solicitante: **Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos**.

La mezcla asfáltica que se especifica en este informe corresponden al tipo: **Mezcla Asfáltica en Caliente, que cumple dentro del Huso granulométrico D5** en concordancia con lo norma **ASTM D 3515** del Instituto del Asfalto y referidas en el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

### 3. Especificaciones de los componentes

Los materiales a utilizar serán los que se especifican en la continuación:

#### (a) Agregados Minerales Gruesos

Los agregados gruesos deben cumplir con los siguientes requerimientos:

**Tabla 1. Requerimientos para los Agregados Gruesos**

Ensayos	Norma		Requerimiento Altitud (m.s.n.m)	
	MTC	ASTM - AASHTO	< 3000	> 3000
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	MTC E 209	ASTM C-88	12% máx.	10% máx.
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	ASTM C-88	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	ASTM C-131	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 519	ASTM D 1664	+95	
Índice de durabilidad	MTC E 214	-	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas (1)	-	ASTM D-4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas (< 3 millones, de ejes Equivalentes)	MTC E 210	(ASTM D-5821)	65/40	
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D 1888	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción*	MTC E 206	ASTM C 118	1.00%	Según Diseño.

(1) La relación a emplearse para la determinación es: 1/3 (espesor/longitud)

*Nota: La notación "65/40" indica que el 65% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 40% tiene dos caras fracturadas.*



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Grapiel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**(b) Agregados minerales finos**

Los agregados finos deberán cumplir con los requerimientos siguientes:

**Tabla 2.** Requerimientos para los Agregados Finos

Ensayos	Norma		Requerimiento Altitud (m.s.n.m)	
	MTC	ASTM - AASHTO	< 3000	> 3000
Equivalente de Arena	MTC E 209	(AASHTO – 176)	Mínimo 45 %	
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	-	30	40
Azul de metileno	-	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	ASTM D 4318	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	-	18 máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214		35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	ASTM D 4318	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D 1888	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción*	MTC E 205	ASTM C 118	0.5% máx.	0.5% máx.

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el uno por ciento (1%) de partículas deleznable según ensayo MTC E 212. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos.

**(c) Gradación  
Mezcla Asfáltica Normal (MAC)**

La gradación de la mezcla asfáltica normal (MAC) deberá responder al siguiente huso granulométrico:

**Tabla 3.** Huso granulométrico D5 – ASTM D 3515

Tamiz	PORCENTAJE QUE
	D5-ASTM D 3515
3/4"	100
1/2"	90 – 100
# 4	44 – 74
#8	28 – 58
# 50	5 – 21
# 200	2 – 10



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**(d) Cemento Asfáltico**

El Cemento Asfáltico a emplearse en la fabricación de la Mezcla Asfáltica en Caliente será clasificado por penetración. Para este proyecto se empleará cemento asfáltico CAP PEN 60-70 (Ver Tabla 4); su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la tabla de especificaciones del cemento asfáltico según la normativa EG-2013:

**Tabla 4** Tipo de Cemento Asfáltico Clasificado según Penetración

Cemento Asfáltico	Temperatura Media Anual 24°C o más
Tipo CAP PEN (Penetración 25°C, 100 g, 5s, 0.1 mm)	60-70

**Tabla 5.** Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Penetración

Características	Ensayo	Grado de Penetración	
		60 - 70	
		Mín	Máx.
Penetración 25°C, 100 g, 5s, 0.1 mm	MTC E 304	60	70
Punto de inflamación COC, °C	MTC E 312	232	--
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100	--
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	MTC E 302	99	--
Susceptibilidad térmica, ensayo de película delgada en horno, 3.2 mm, 163°C, 5 hrs.	MTC E 316		
• Pérdida de masa, %		--	0.8
• Penetración del residuo, % de la penetración original	MTC E 304	52	--
• Ductibilidad del residuo, 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	50	--
Indice de Susceptibilidad Térmica		-1.0	+1.0
Ensayo de la Mancha con solvente Heptano - Xileno 20% (opcional)	MTC E 314	Negativo	



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

*[Firma]*  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

#### 4. Especificaciones de la mezcla asfáltica

Las características de calidad de la mezcla asfáltica, deberán estar de acuerdo con las exigencias para mezclas de asfálticas en caliente que se indican en las siguientes tablas (Ver Tablas 6 y 7), según corresponda el tipo de mezcla que se produzca, de acuerdo al diseño asfáltico del proyecto y lo indicado por el supervisor.

**Tabla 6.** Requisitos para Mezcla Asfáltica en Caliente

Parámetro de diseño	Clase de mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E504			
1. Estabilidad (mínimo)	8 kn (815 kg)	5.34 kn (544 kg)	4.45 kn (453 kg)
2. Flujo 0.25 mm (0.01")	8 – 14	8 – 16	8 – 20
3. Porcentaje de vacíos de aire (MTC E 505) <sup>(1)</sup>	3 – 5	3 – 5	3 – 5
4. Vacíos en el agregado mineral	Ver tabla 26		
5. Compactación, número de golpes por lado.	75	50	35
Inmersión – compresión			
1. Resistencia a la compresión Mpa (mín.)	2.1	2.1	1.4
2. Resistencia retenida (%)	75		
Resistencia Conservada en la prueba de tracción indirecta (mín) (MTC E 521)	80		
Relación Polvo – Asfalto	0.6 – 1.3		
Relación Estabilidad/ Flujo (kg/cm) <sup>(2)</sup>	1700 – 4000		

(1) A la fecha (1999) se tiene tramos efectuados en el Perú que tiene el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de los 3000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est./Flujo sea de la menor magnitud posible tendiéndose hacia el límite inferior.

(3) El índice de compactabilidad mínimo será 5

El índice de compactabilidad se define como:  $\frac{1}{GEB50 - GEB5}$

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

**Tabla 7.** Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)

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

**Nota:** Los valores de esta tabla serán seleccionados de acuerdo al tamaño máximo de las mezclas.

INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518



## 5. Diseño de Mezcla Asfáltica

### 5.1. Agregados Componentes

Los agregados pétreos a usarse son procedentes del acopio temporal ubicado en la planta chancadora de la Cantera Bazán, en el Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca; la denominación de los agregados identificados es:

- Grava triturada < 3/4" – 1/2", procedente de la Cantera Bazán.
- Arena triturada < 3/8", procedente de Cantera Bazán

### 5.2. Combinación de Agregados

Para la obtención de la fórmula de trabajo granulométrico se hizo mediante el uso del método de Fuller, en la cual la combinación de los agregados quedo representada en proporciones de la siguiente manera:

**Tabla 8.** Proporción de agregados de diseño

Agregado / Cantera	Porcentaje
Grava triturada < 3/4" – 1/2", procedente de la Cantera Bazán	30%
Arena triturada < 3/8", procedente de Cantera Bazán	70%
Total de agregados	100 %



La combinación teórica los agregados se muestran a continuación:

**Tabla 9.** Combinación teórica de agregados para la mezcla asfáltica en caliente

TAMICEZ	Fajas por agregados a intervenir				Mezcla MAC - HUSO D5			Chequeo
			Arena Triturada Cantera Bazán < 3/8"	Grava Triturada Cantera Bazán < 3/4" - 1/2"	Comb. Teórica	Especific. HUSO D5		
			70.0%	30.0%		ASTM D-3515		
3/4"	19.050		100.0	100.0	100.0	100	100	ok
1/2"	12.700		100.0	71.1	91.3	90	100	ok
3/8"	9.525		100.0	2.5	70.8			
# 4	4.760		75.8	0.5	53.2	44	74	ok
# 8	2.360		54.0	0.5	38.0	28	58	ok
# 10	2.000							
# 16	1.180		38.7	0.5	27.2			
# 30	0.600		29.1	0.5	20.5			
# 40	0.420							
# 50	0.300		15.0	0.0	10.5	5	21	ok
# 80	0.177							
# 100	0.150		5.6	0.0	3.9			
# 200	0.075		4.2	0.0	2.0		10	ok

INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

### 5.3. Control de calidad del Agregado Grueso

Para la realización de este diseño se tuvo en cuenta los requerimientos de calidad que debe cumplir el agregado grueso para la fabricación de la mezcla asfáltica en caliente. Es por ello que se realizaron los respectivos ensayos de laboratorio, donde se evaluó la calidad del agregado grueso (grava triturada) de la cantera Bazán y se obtuvieron los siguientes resultados (Ver Tabla 10):

**Tabla 10.** Resultados de control de calidad del agregado grueso

Ensayos	Norma		Resultado Obtenido	Requerimiento Altitud (m.s.n.m)		Evaluación (Condición)
	MTC	ASTM - AASHTO		< 3000	> 3000	
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	MTC E 209	ASTM C-88	4.88	12% máx.	10% máx.	Cumple
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	ASTM C-88	5.06	18% máx.	15% máx.	Cumple
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	ASTM C-131	24.4	40% máx.	35% máx.	Cumple
Adherencia	MTC E 519	ASTM D 1664	+95%	+95		Cumple
Índice de durabilidad	MTC E 214	-	71%	35% mín.	35% mín.	Cumple
Partículas chatas y alargadas (1)	-	ASTM D-4791	3.5	10% máx.	10% máx.	Cumple
Caras fracturadas (< 3 millones, de ejes Equivalentes)	MTC E 210	(ASTM D-5821)	90.3/76.6	85/50	90/70	Cumple
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D 1888	0.1178	0.5% máx.	0.5% máx.	Cumple
Absorción*	MTC E 206	ASTM C 118	0.77	1.00%	Según Diseño.	Cumple



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
.....  
Darwin Grabiell Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

#### 5.4. Control de calidad del Agregado fino

Para la realización de este diseño se tuvo en cuenta los requerimientos de calidad que debe cumplir el agregado fino para la fabricación de la mezcla asfáltica en caliente. Es por ello que se realizaron los respectivos ensayos de laboratorio, donde se evaluó la calidad del agregado fino (arena chancada) de la cantera Bazán y se obtuvieron los siguientes resultados (Ver Tabla 11):

**Tabla 11.** Resultados de control de calidad del agregado fino

Ensayos	Norma		Resultados Obtenidos Cantera Bazán	Requerimiento Altitud (m.s.n.m)	
	MTC	ASTM - AASHTO		< 3000	> 3000
Equivalente de Arena	MTC E 209	(AASHTO – 176)	73.0	Mínimo 45 %	
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	-	41.2	30	40
Azul de metileo	-	AASHTO TP-57	4.87	4% mín.	6% mín.
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	ASTM D 4318	NP	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	7.13	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	-	61.0	35% mín.	35% mín.
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	ASTM D 4318	NP	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D 1888	0.0663	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción*	MTC E 205	ASTM C 118	0.43	0.5% máx.	0.5% máx.

#### 5.5. Propiedades del Cemento Asfáltico

Las propiedades del cemento asfáltico fueron verificadas y el certificado de calidad del mismo se adjunta en los anexos donde se puede verificar el cumplimiento de lo especificado para el cemento asfáltico clasificado por penetración tipo PEN 60-70.

En este informe se adjunta el certificado de calidad del cemento asfáltico tipo PEN 60-70 referente a la carta de viscosidad, de la cual se obtiene la temperatura de mezclado y compactación.



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
.....  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

## 5.6. Propiedades de la Mezcla Asfáltica en Caliente de Diseño

Las características de la mezcla asfáltica en caliente que se obtuvo en la etapa de diseño son las siguientes:

**Tabla 12.** Propiedades de la Mezcla Asfáltica de Diseño Marshall

MEZCLA ASFÁLTICA			
ESPECIFICACIONES MARSHALL	OBTENIDO	ESPECIFICACION EG - 2013	EVALUACIÓN
OPTIMO CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO - CAP PEN 60/70 (%)	5.50	±0.2%	5.4% - 5.8%
PESO UNITARIO (g/cm <sup>3</sup> )	2.240	SEGÚN DISEÑO	--
VACÍOS (%)	4.0	3—5	APROBADO
V.M.A. (%)	16.9	MIN 14	APROBADO
VFA (%)	76.7	65 - 78%	APROBADO
FLUJO (mm)	3.7	2—4	APROBADO
ESTABILIDAD (kg)	1607.4	MIN 815	APROBADO
INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)	3818.5	1700—4000	APROBADO
ESTABILIDAD RETENIDA (%)	83.5	MIN 70%	APROBADO
INDICE DE COMPACTIBILIDAD	5.90	MIN 5	APROBADO



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
  
 Darwin Gabriel Castillo Neyra  
 Ingeniero Civil  
 CIP N° 243518

### 5.7. Dosificación de diseño para aplicación en obra (Planta de asfalto)

La dosificación para la aplicación del diseño de mezcla asfáltica en caliente en el proceso de fabricación se muestra en la siguiente tabla (Ver Tabla 13):

**Tabla 13.** Dosificación de agregaos e insumos

DOSIFICACIÓN				
CEMENTO ASFÁLTICO (60-70)		5.50%		REFERENCIA SÓLO A CURVA GRANULOMÉTRICA
GRAVA CHANCADA 3/4"	Cantera Bazán	30.0%	<b>GRAVA</b>	<b>47</b>
ARENA CHANCADA < 1/4"	Cantera Bazán	70.0%	<b>ARENA</b>	<b>53</b>
<b>AGREGADO TOTAL</b>				<b>100.0</b>

### 5.8. Rangos de temperatura de trabajo (Planta de asfalto y pista)

Los rangos de temperatura de trabajo para la fabricación y compactación de mezcla asfáltica en caliente de acuerdo al diseño patrón planteado en este informe técnico se muestran en la siguiente tabla (Ver Tabla 14):

**Tabla 14.** Rangos de temperaturas de trabajo.

TEMPERATURAS DE TRABAJO		LUGAR DE APLICACIÓN
TEMPERATURA DE AGREGADOS	150 °C	Planta de asfalto
TEMPERATURA DE MEZCLADO	149 °C - 154 °C	Planta de asfalto
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN	140 °C - 143 °C	Campo En pista durante el proceso de colocación.

### 6. Conclusiones y/o recomendaciones

- Los ensayos de laboratorio, tanto de la mezcla de gravas, mezcla de arenas y de la mezcla asfáltica se presentan adjuntos en el anexo respectivo.
- El óptimo contenido de cemento asfáltico obtenido de este diseño fue de 5.50%, el cual se obtuvo siguiendo el criterio de promediar los valores de contenido asfáltico para la máxima estabilidad, máximo peso unitario y porcentaje de vacíos de 4%.



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

- La mezcla asfáltica con un contenido óptimo de 5.50% cumple los parámetros establecidos en el presente diseño y en concordancia con las Especificaciones Técnicas del Proyecto y normativa peruana vigente.
- Con los ensayos Marshall sometidos a los testigos de asfalto moldeados con el óptimo de cemento asfáltico se obtuvo una estabilidad de 1607.4 kg, donde se determinó un flujo de 3.7 mm y un porcentaje de vacíos cumpliéndose así con la relación estabilidad/flujo (índice de rigidez) el cual calculando se obtuvo un valor de 3818.5 kg/cm, que está por debajo de los 4000 kg/cm máximos requeridos, sin embargo este parámetro máximo no debería restringir la aprobación de la mezcla en caso supere el tope máximo, por lo que en caso suceda estos casos, se sugiere evaluar por desempeño a la mezcla asfáltica en caliente.

## 7. Panel fotográfico

**Obtención de Agregados Grava Chancada y Arena Chancada de la Cantera Bazán en Cajamarca Para elaboración de diseño Patrón y Diseños con polvo de caucho.**

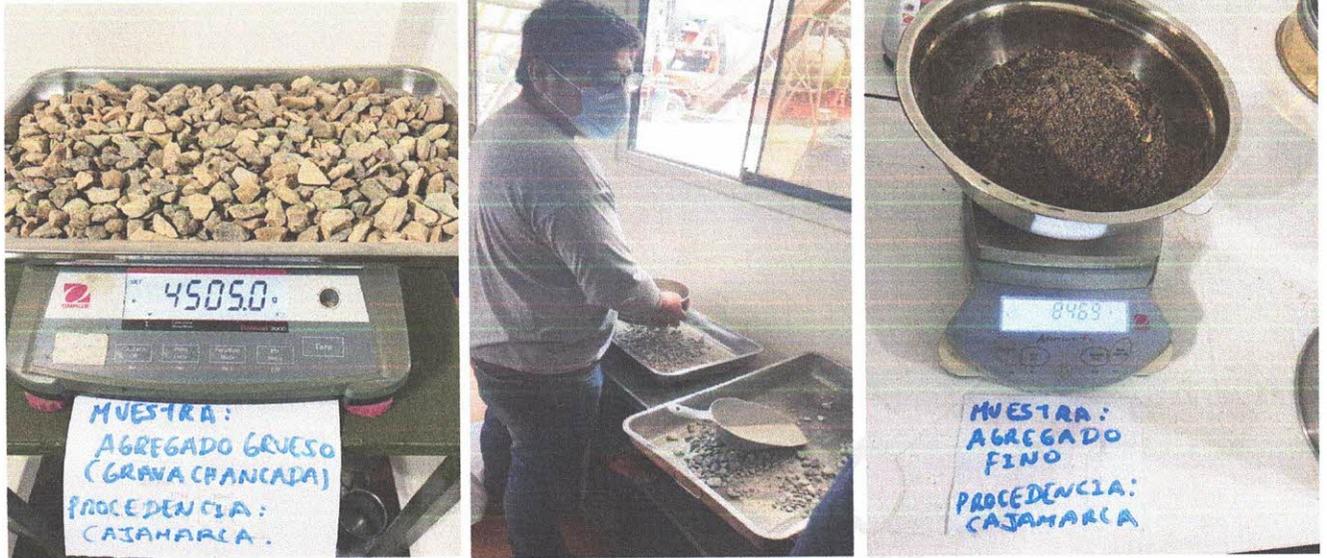


INVERSIONES & TECNOLOGIA DE  
PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Grabeel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518



**Mezcla de Agregado Grueso y Agregado Fino para diseño M.A.C. – Laboratorio INTECPAV**



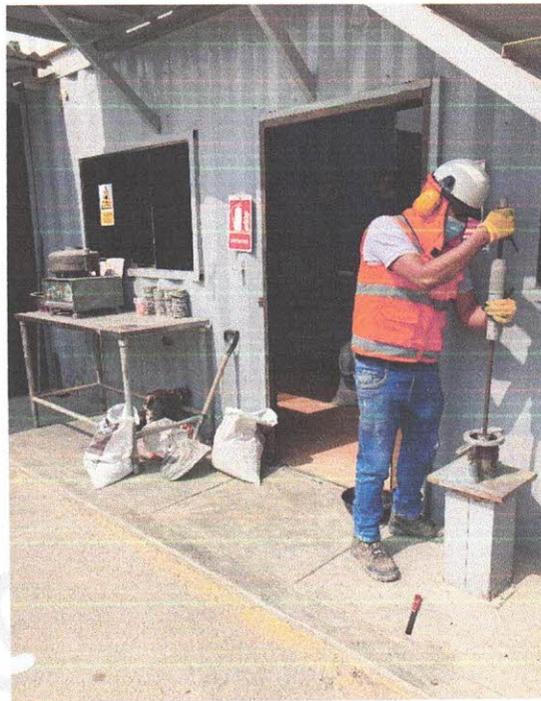
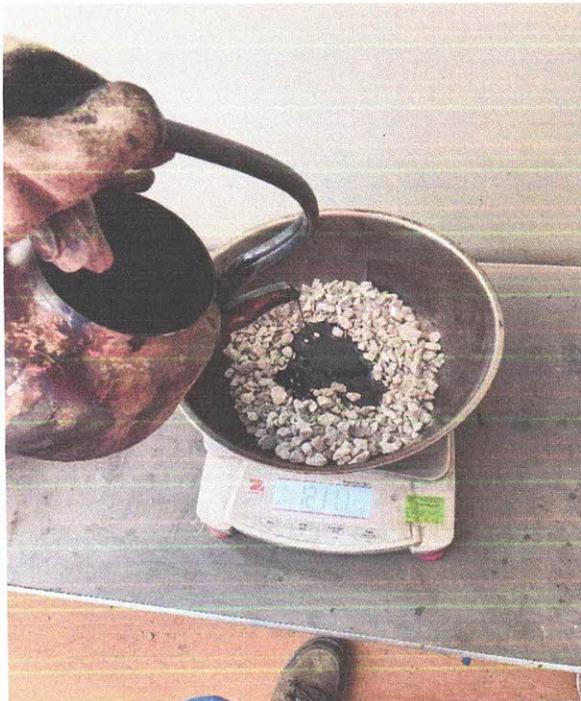
**Calentamiento de agregados y cemento asfáltico para elaboración de testigos de asfalto con distintos contenidos de cemento asfáltico (4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%)**



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

Elaboración de testigos Mezcla Asfáltica en Caliente con contenidos de cemento asfáltico (4.5%,5.0%,5.5%,6.0% y 6.5%).



Testigos de Mezcla Asfáltica en Caliente compactados con el método Marhsall (75 golpes por lado)



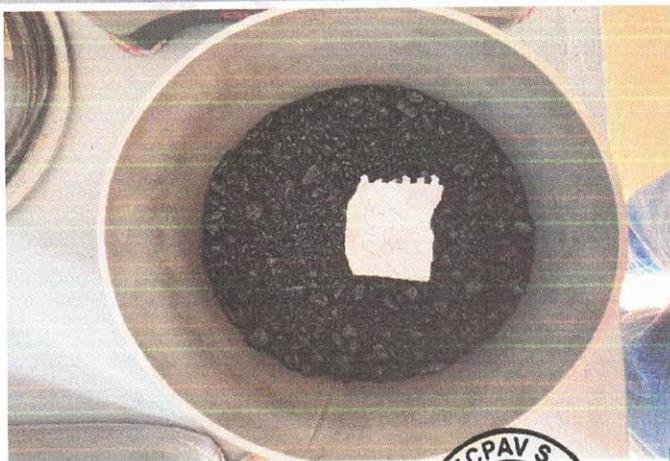
INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

*Darwin Gabriel*  
 Darwin Gabriel Castillo Neyra  
 Ingeniero Civil  
 C.P. N° 243518

**Mezcla Asfáltica en Caliente Preparada Para Ensayos de Máxima Densidad Teórica (RICE) con porcentajes de asfalto de 4.5 %, 5.0 %, 5.5 %, 6.0 % y 6.5 %**



**Peso de Mezcla Asfáltica en caliente para Ensayos de Máxima Densidad Teórica (RICE) con porcentajes de asfalto de 4.5 %, 5.0 %, 5.5 %, 6.0 % y 6.5 %**

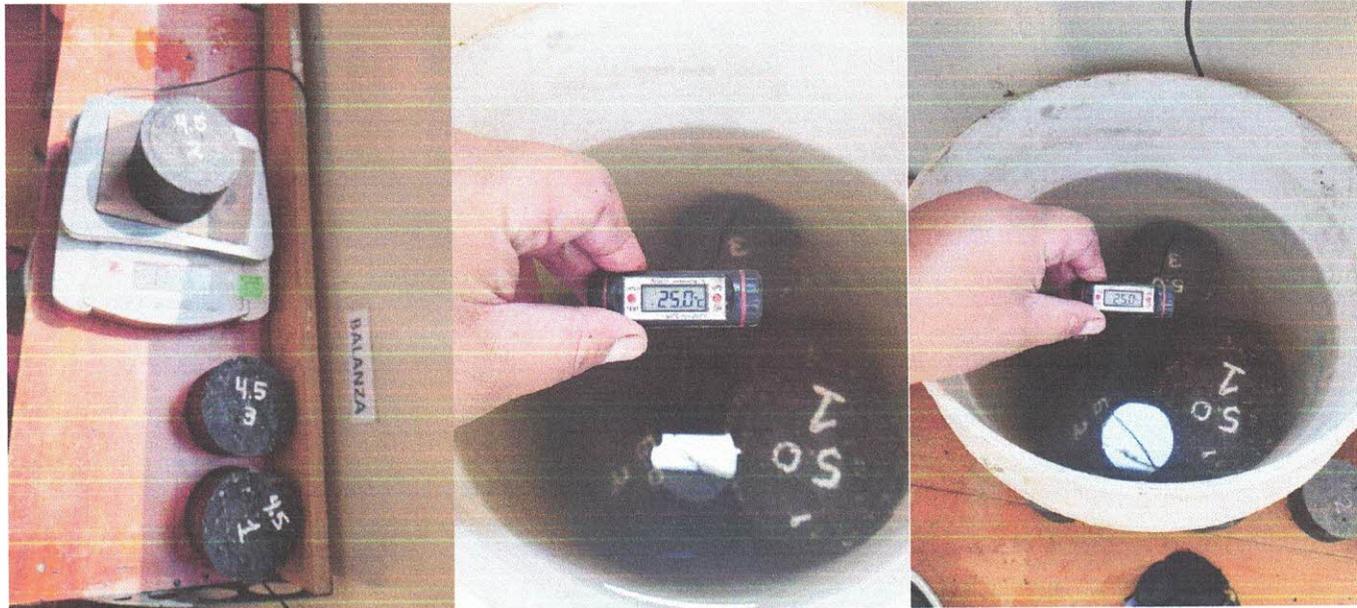


INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Grabiell Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518



Determinación del peso unitario de los testigos de asfalto con porcentajes de asfalto de 4.5 %, 5.0 %, 5.5 %, 6.0 % y 6.5 % en agua temperada a 25°C.



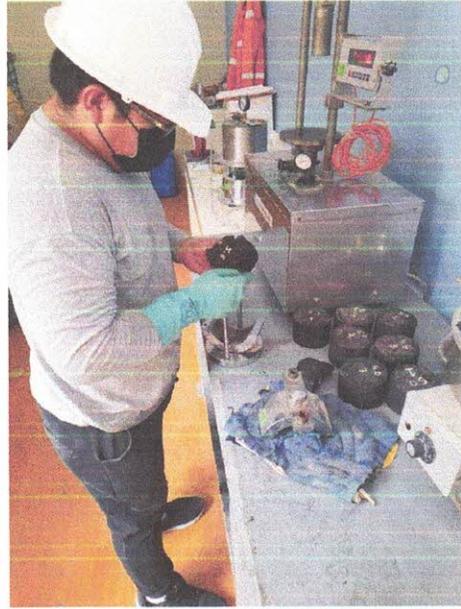
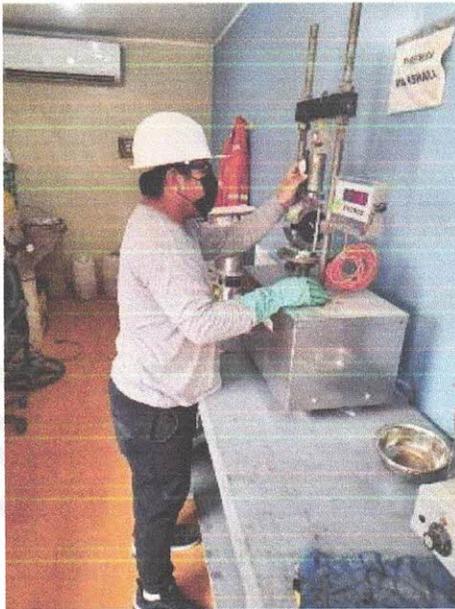
INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

*[Signature]*  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

Testigos de asfalto con porcentajes de asfalto de 4.5 %, 5.0 %, 5.5 %, 6.0 % y 6.5 % en el Baño María a temperatura de ensayo de 60°C para ensayos de estabilidad en la prensa Marshall.



Determinación de estabilidad/ flujo en la prensa Marshall a los Testigos de asfalto con porcentajes de asfalto de 4.5 %, 5.0 %, 5.5 %, 6.0 % y 6.5 %.



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

# **DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

## **HUSO GRANULOMÉTRICO D5**

### **ASTM D 3515**

**PROYECTO: TESIS: "INFLUENCIA DE LA  
INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO  
RECICLADO EN LOS PAVIMENTOS DE UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA LA  
CIUDAD DE CAJAMARCA"**

**SOLICITANTE: BACH. HÉCTOR ISAAC AYALA  
HOYOS**

**SETIEMBRE 2022**

# **DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE HUSO GRANULOMÉTRICO D5 ASTM D 3515**

**PROYECTO: TESIS: "INFLUENCIA DE LA  
INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO  
RECICLADO EN LOS PAVIMENTOS DE UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA LA  
CIUDAD DE CAJAMARCA"**

**ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD EN  
LOS AGREGADOS**

**AGREGADO GRUESO**

**GRAVA TRITURADA TM 3/4"**

**CANTERA SEOING**

**SOLICITANTE: BACH. HÉCTOR ISAAC AYALA  
HOYOS**

**SETIEMBRE 2022**

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO  
CONTROL DE CALIDAD DEL AGREGADO GRUESO**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**

OBRA / PROYECTO: Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"

UBICACIÓN: Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca

SOLICITANTE: Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos

FECHA: 13/09/2022

Tabla 423-01. Requerimientos para los agregados gruesos

AGREGADO GRUESO Grava < 3/4" - 1/2"

CANTERA Cantera Bazán

ENSAYOS	NORMA	RESULTADO	Requerimiento		CONDICIÓN
			Altitud (msnm)		
			≤3.000	>3.000	
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	MTC E 209	4.48	12% máx.	10% máx.	Cumple
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	5.06	18% máx.	15% máx.	Cumple
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	24.4	40% máx.	35% máx.	Cumple
Adherencia	MTC E 517	+ 95%	+95		Cumple
Índice de Durabilidad	MTC E 214	71.0	35% mín.	35% mín.	Cumple
Partículas chatas y alargadas	ASTM D 4791	3.5	10% máx.	10% máx.	Cumple
Caras fracturadas	MTC E 210	90.3 / 76.6	85/50	90/70	Cumple
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.1178	0,5% máx.	0,5% máx.	Cumple
Absorción *	MTC E 206	0.77	1,0% máx.	1,0% máx.	Cumple



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Graciela Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
C.P. N° 243518



**INTECPAV** S.A.C.  
"CONSTRUYENDO CON TECNOLOGÍA"

**INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.**

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS, DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE  
SUMINISTRO DE INSUMOS, ADITIVOS Y AGREGADOS PARA OBRAS CIVILES  
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL PARA CARRETERAS  
VENTA Y ALQUILER DE EQUIPOS DE LABORATORIO

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88

OBRA : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"

UBICACIÓN : Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca

SOLICITANTE : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos

MATERIAL : Grava < 3/4" - 1/2"

MUESTRA : M-1

CANTERA : Cantera Bazán

UBICACIÓN : Acopio en Planta de Chancadora

N° ENSAYO : 001

RESP. LAB. : D.C.N.

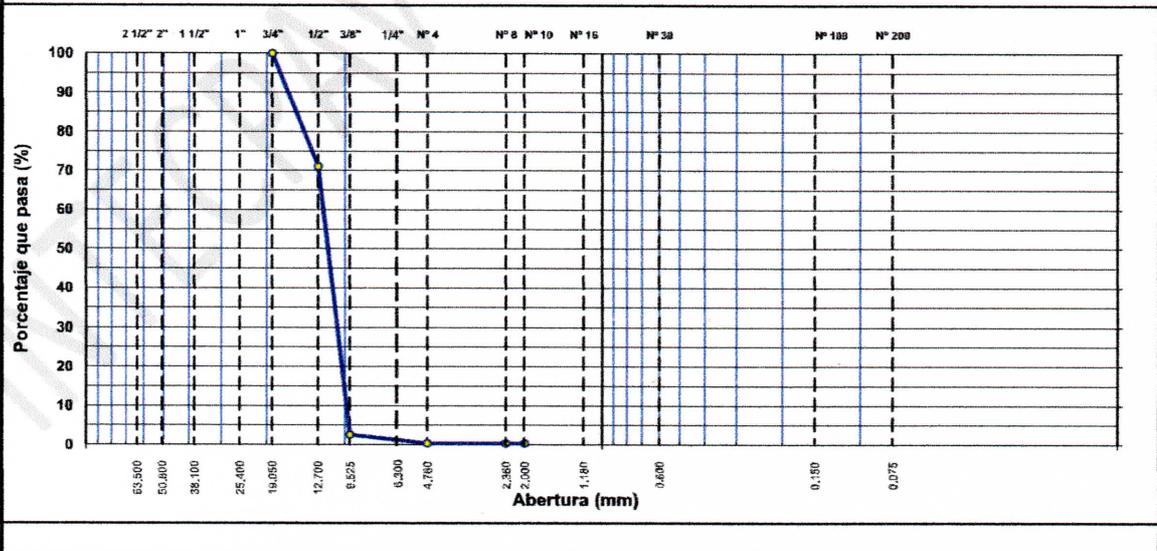
ING° RESP. : D.C.N.

HECHO POR : D.C.N.

FECHA : 13/09/2022

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q° PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					PESO TOTAL = 4,505.0 gr
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.700	1,300.0	28.9	28.9	71.1	
3/8"	9.525	3,090.5	68.6	97.5	2.5	
1/4"	6.300					
# 4	4.760	93.0	2.1	99.5	0.5	
# 8	2.380	1.0	0.0	99.5	0.5	
# 10	2.000	0.5	0.0	99.6	0.5	
FONDO		20.0	0.4	100.0	0.0	
						% HUMEDAD
						P.S.H.
						P.S.S.
						% Humedad
						4515.0
						4505.0
						%
						0.2
OBSERVACIONES:						
Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.						
TOTAL		4,505.0				

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Cansillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518



DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO										
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS										
MTC E 209 - ASTM C 88 - AASHTO T-104										
OBRA : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"							N° ENSAYO : 001			
UBICACIÓN : Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca							RESP. LAB. : D.C.N.			
SOLICITANTE : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos							ING° RESP. : D.C.N.			
MATERIAL : Grava < 3/4" - 1/2"							HECHO POR : D.C.N.			
MUESTRA : M-1							FECHA : 13/09/2022			
CANTERA : Cantera Bazán										
UBICACIÓN : Acopio en Planta de Chancadora										
ANÁLISIS CUANTITATIVO										
AGREGADO GRUESO										
TAMAÑO		Gradación Original (%)	Peso requerido (g)	Peso fracción ensayada (g)	N° de partículas	Peso ret. después de ensayo (g)	Pérdida		Pérdida corregida (%)	N° de partículas
Pasa	Retiene						Peso (gr)	%		
2 1/2"	2"		3000±300							
2"	1 1/2"		2000±200							
1 1/2"	1"		1000±50							
1"	3/4"	0.0	500±30	0.0		0.0	0.0	0.0	0.00	
3/4"	1/2"	28.9	670±10	678.3		648.2	30.1	4.6	1.34	
1/2"	3/8"	68.6	330±5	333.5		319.7	13.8	4.3	2.96	
3/8"	N° 4	2.5	300±5	304.9		285.2	19.7	6.9	0.17	
TOTALES		100.0		1316.7		1253.1			4.48	
OBSERVACIONES: Solución: <b>Sulfato de Sodio</b> <i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i>										



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO										
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS										
MTC E 209 - ASTM C 88 - AASHTO T-104										
<b>OBRA</b> : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"							<b>N° ENSAYO</b> : 001			
<b>UBICACIÓN</b> : Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca							<b>RESP. LAB.</b> : D.C.N.			
<b>SOLICITANTE</b> : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos							<b>ING° RESP.</b> : D.C.N.			
<b>MATERIAL</b> : Grava < 3/4" - 1/2"							<b>HECHO POR</b> : D.C.N.			
<b>MUESTRA</b> : M-1							<b>FECHA</b> : 13/09/2022			
<b>CANTERA</b> : Cantera Bazán										
<b>UBICACIÓN</b> : Acopio en Planta de Chancadora										
ANÁLISIS CUANTITATIVO										
AGREGADO GRUESO										
TAMAÑO		Gradación Original (%)	Peso requerido (g)	Peso fracción ensayada (g)	N° de partículas	Peso ret. después de ensayo (g)	Pérdida		Pérdida corregida (%)	N° de partículas
Pasa	Retiene						Peso (gr)	%		
2 1/2"	2"		3000±300							
2"	1 1/2"		2000±200							
1 1/2"	1"		1000±50							
1"	3/4"	0.0	500±30	0.0		0.0	0.0	0.0	0.00	
3/4"	1/2"	28.9	670±10	673.2		640.3	32.9	5.1	1.48	
1/2"	3/8"	68.6	330±5	336.1		320.1	16.0	5.0	3.43	
3/8"	N° 4	2.5	300±5	302.8		285.6	17.2	6.0	0.15	
<b>TOTALES</b>		<b>100.0</b>		<b>1312.1</b>		<b>1246.0</b>			<b>5.06</b>	
<b>OBSERVACIONES:</b> Solución: <b>Sulfato de magnesio</b> <i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i>										



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin *Graziel* Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

ENSAYO DE ABRASIÓN ( MÁQUINA DE LOS ÁNGELES )					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS					
MTC E 207 - ASTM C 535 - AASHTO T-96					
OBRA	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"			N° ENSAYO	: 001
UBICACIÓN	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca			RESP. LAB.	: D.C.N.
SOLICITANTE	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos			ING° RESP.	: D.C.N.
MATERIAL	Grava < 3/4" - 1/2"			HECHO POR	: D.C.N.
MUESTRA	M-1			FECHA	: 13/09/2022
CANTERA	Cantera Bazán				
UBICACIÓN	Acopio en Planta de Chancadora				
Tamiz Pasa - Retiene		Gradaciones			
		A	B	C	D
1 1/2" - 1"					
1" - 3/4"					
3/4" - 1/2"			2500.0		
1/2" - 3/8"			2500.0		
3/8" - 1/4"					
1/4" - N° 4					
N° 4 - N° 8					
Peso Total			5000.0		
(% Retenido en la malla N° 12			3780.1		
(% Que pasa en la malla N° 12			1219.9		
N° de esferas			11		
Peso de las esferas (gr)			4584 ± 25		
% Desgaste			24.4		
OBSERVACIONES : <i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i>					



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

*Darwin Gabriel Castillo Neyra*  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

ADEHERENCIA DEL AGREGADO GRUESO							
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS							
ASTM D 1664							
<b>OBRA</b>	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"						
<b>UBICACIÓN</b>	: Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca	<b>N° ENSAYO</b> : 001					
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos	<b>RESP. LAB.</b> : D.C.N.					
<b>MATERIAL</b>	: Grava < 3/4" - 1/2"	<b>ING. RESP.</b> : D.C.N.					
<b>MUESTRA</b>	: M-1	<b>HECHO POR</b> : D.C.N.					
<b>CANTERA</b>	: Cantera Bazán	<b>FECHA</b> : 13/09/2022					
<b>UBICACIÓN</b>	: Acopio en Planta de Chancadora						
DATOS DE LA MUESTRA							
<b>Cantera</b>	: Cantera Bazán						
<b>Material</b>	: Grava < 3/4" - 1/2"						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;">Material</th> <th style="width: 33%;">Muestra</th> <th style="width: 33%;">% Adhesividad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Agregado grueso</td> <td style="text-align: center;">Sin aditivo</td> <td style="text-align: center;">+ 95%</td> </tr> </tbody> </table>	Material	Muestra	% Adhesividad	Agregado grueso	Sin aditivo	+ 95%
Material	Muestra	% Adhesividad					
Agregado grueso	Sin aditivo	+ 95%					
<b>Observaciones :</b>	<p style="text-align: center;"><i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i></p>						



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Grabiell Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

ÍNDICE DE DURABILIDAD						
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS						
MTC E 214 - AASHTO T-210 - ASTM D 3744						
OBRA	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"					
UBICACIÓN	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca					Nº ENSAYO : 001
SOLICITANTE	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos					RESP. LAB. : D.C.N.
MATERIAL	Grava < 3/4" - 1/2"					ING. RESP. : D.C.N.
MUESTRA	M-1					HECHO POR : D.C.N.
CANTERA	Cantera Bazán					FECHA : 13/09/2022
UBICACIÓN	Acopio en Planta de Chancadora					
AGREGADO GRUESO						
MUESTRA DE DISEÑO	UNIDAD	IDENTIFICACIÓN				Promedio
		1	2	3	4	
Tamaño máximo (pasa malla 3/4")	mm					
Hora de entrada a saturación	hh:mm	16:20	16:22	16:24		
Hora de salida de saturación (mas 10")	hh:mm	16:30	16:32	16:34		
Hora de entrada a decantación	hh:mm	16:32	16:34	16:36		
Hora de salida de decantación (mas 20")	hh:mm	16:52	16:54	16:56		
Altura de sedimentación en pulg.	pulg.	1.20	1.30	1.30		
Índice de durabilidad	%	71	70	70		71
<b>Observaciones:</b>						
<i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i>						



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
 Darwin Gabriel Castillo Neyra  
 Ingeniero Civil  
 CIP Nº 243518

PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS						
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS						
OBRA	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"					
UBICACIÓN	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca					Nº ENSAYO : 001
SOLICITANTE	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos					RESP. LAB. : D.C.N.
MATERIAL	Grava < 3/4" - 1/2"					INGº RESP. : D.C.N.
MUESTRA	M-1					HECHO POR : D.C.N.
CANTERA	Cantera Bazán					FECHA : 13/09/2022
UBICACIÓN	Acopio en Planta de Chancadora					
ASTM D 4791						
TAMIZ	Peso por mallas (A) (gr)	Peso chatas y alargadas (B) (gr)	Porcentaje (C)=(B)/(A)*100 (%)	Gradación Original (D) (%)	Corrección (E)=(C)*(D) (%)	(E)/(D) (%)
2 1/2" - 2"						
1" - 3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
3/4" - 1/2"	1300.0	45.0	3.5	34.9	120.7	
1/2" - 3/8"	3090.5	112.8	3.6	28.2	102.8	
Peso Total (gr.)	4391	157.8		63.0	223.5	3.5
Observaciones:						
La relación empleada para la determinación es: 1/3 (espesor/ longitud)						
<i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i>						
La muestra presenta partículas de canto rodado.						



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Grabeel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP Nº 243518

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS								
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS								
OBRA		Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"						
UBICACIÓN		Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca					N° ENSAYO : 001	
SOLICITANTE		Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos					RESP. LAB. : D.C.N.	
MATERIAL		Grava < 3/4" - 1/2"					ING° RESP. : D.C.N.	
MUESTRA		M-1					HECHO POR : D.C.N.	
CANTERA		Cantera Bazán					FECHA : 13/09/2022	
UBICACIÓN		Acopio en Planta de Chancadora						
MTC E 210 - ASTM D 5821								
CON UNA CARA FRACTURADA								
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO POR MALLAS (A) (gr)	1 CARA FRACTURADA (B) (gr)	% POR MALLAS (C) = (B/A)*100 (%)	PORCENTAJE POR MALLAS (D) (%)	(E) = (C)*(D) (%)	(E)/(D)	
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ							
1 1/2"	1"							
1"	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
3/4"	1/2"	1300.0	1120.0	86.2	34.9	3003.3		
1/2"	3/8"	3090.5	2950.0	95.5	28.2	2688.9		
TOTAL		4390.5	2950.0		63.0	5692.3	90.3	
CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS								
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO POR MALLAS (A) (gr)	2 CARAS FRACTURADAS (B) (gr)	% POR MALLAS (C) = (B/A)*100 (%)	PORCENTAJE POR MALLAS (D) (%)	(E) = (C)*(D) (%)	(E)/(D)	
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ							
1 1/2"	1"							
1"	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
3/4"	1/2"	1300.0	865.0	66.5	34.9	2319.5		
1/2"	3/8"	3090.5	2750.0	89.0	28.2	2506.6		
TOTAL		4390.5	3615.0		63.0	4826.2	76.6	
OBSERVACIONES:		Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.						



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518



CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS						
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS						
MTC 219 - 2000						
OBRA	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"				N° ENSAYO	: 001
UBICACIÓN	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca				RESP. LAB.	: D.C.N.
SOLICITANTE	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos				ING° RESP.	: D.C.N.
MATERIAL	Grava < 3/4" - 1/2"				HECHO POR	: D.C.N.
MUESTRA	M-1				FECHA	: 13/09/2022
CANTERA	Cantera Bazán					
UBICACIÓN	Acopio en Planta de Chancadora					
AGREGADO GRUESO						
MUESTRA :	IDENTIFICACION					
ENSAYO N°	1	2	3	Promedio		
(1) Peso muestra (gr)	325.80	330.30	325.90			
(2) Volumen aforo (ml)	500.00	500.00	500.00			
(3) Volumen alicuota (ml)	100.00	100.00	100.00			
(4) Peso masa cristalizada (gr)	0.08	0.07	0.08			
(5) Porcentaje de sales (%) $(100/((3) \times (1) / ((4) \times (2))))$	0.117	0.113	0.123	0.118		%
<b>Observaciones :</b>						
<i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i>						



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS						
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS						
(NORMA AASHTO T-84, T-85)						
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS						
OBRA	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"				N° ENSAYO	: 001
UBICACIÓN	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca				RESP. LAB.	: D.C.N.
SOLICITANTE	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos				ING° RESP.	: D.C.N.
MATERIAL	Grava < 3/4" - 1/2"				HECHO POR	: D.C.N.
MUESTRA	M-1				FECHA	: 13/09/2022
CANTERA	Cantera Bazán					
UBICACIÓN	Acopio en Planta de Chancadora					
DATOS DE LA MUESTRA						
AGREGADO GRUESO						
A	Peso material saturado superficialmente seco (en aire) (gr)	1500.0	1500.0	1500.0		
B	Peso material saturado superficialmente seco (en agua) (gr)	910.5	910.3	910.8		
C	Volumen de masa + volumen de vacíos = A-B (cm <sup>3</sup> )	589.5	589.7	589.2		
D	Peso material seco en estufa ( 105 °C )(gr)	1488.2	1488.5	1488.7		
E	Volumen de masa = C - ( A - D ) (cm <sup>3</sup> )	577.7	578.2	577.9	PROMEDIO	
	Pe bulk ( Base seca ) = D/C	2.525	2.524	2.527	2.525	cm
	Pe bulk ( Base saturada ) = A/C	2.545	2.544	2.546	2.545	cm
	Pe Aparente ( Base Seca ) = D/E	2.576	2.574	2.576	2.575	cm
	% de absorción = (( A - D ) / D * 100 )	0.79	0.77	0.76	0.77	%
OBSERVACIONES: <i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i>						



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

# **DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE HUSO GRANULOMÉTRICO D5 ASTM D 3515**

**PROYECTO: TESIS: "INFLUENCIA DE LA  
INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO  
RECICLADO EN LOS PAVIMENTOS DE UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA LA  
CIUDAD DE CAJAMARCA"**

**ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD EN  
LOS AGREGADOS**

**AGREGADO FINO**

**ARENA CHANCADA <3/8"**

**CANTERA BAZÁN**

**SOLICITANTE: BACH. HÉCTOR ISAAC AYALA  
HOYOS**

**SETIEMBRE 2022**



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MTC E 107, E 204 - ASTM D 422 - AASHTO T-11, T-27 Y T-88

OBRA : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"

UBICACIÓN : Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca

SOLICITANTE : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos

MATERIAL : Arena Triturada para asfalto < 3/8"

MUESTRA : M-1

CANTERA : Cantera Bazán

UBICACIÓN : Acopio en Planta Chancadora

N° ENSAYO : 001

RESP. LAB. : D.C.N.

ING° RESP. : D.C.N.

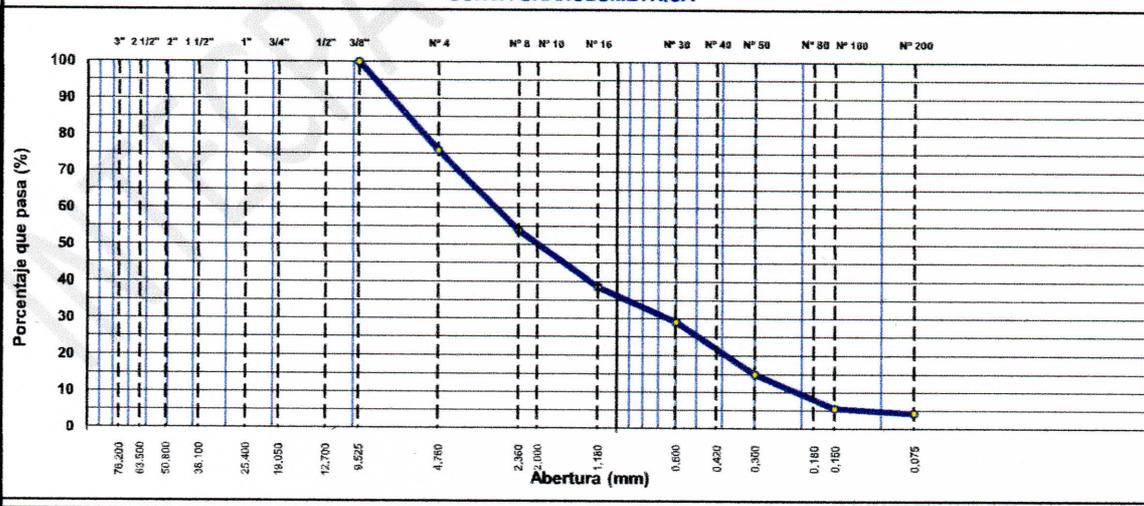
HECHO POR : D.C.N.

FECHA : 20/07/2022

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
7"	177.800						PESO TOTAL = 799.3 gr
6"	152.400						PESO LAVADO = 765.4 gr
5"	127.000						PESO FINO = 606.1 gr
4"	101.600						% HUMEDAD P.S.H. P.S.S. % Humedad
3"	76.200						846.3 799.3 6.0%
2 1/2"	63.500						Ensayo Malla #200 P.S.Seco. P.S.Lavado 200%
2"	50.800						799.3 765.4 4.2
1 1/2"	38.100						% Grava = 24.2 %
1"	25.400						% Arena = 71.6 %
3/4"	19.050						% Fino = 4.2 %
1/2"	12.700						MÓDULO DE FINURA = 3.82 %
3/8"	9.525				100.0		
# 4	4.760	193.2	24.2	24.2	75.8		
# 8	2.360	174.5	21.8	46.0	54.0		
# 10	2.000						
# 16	1.180	122.1	15.3	61.3	38.7		
# 30	0.600	76.8	9.6	70.9	29.1		
# 40	0.420						
# 50	0.300	112.9	14.1	85.0	15.0		
# 60	0.180						
# 100	0.150	75.4	9.4	94.5	5.6		
# 200	0.075	10.5	1.3	95.8	4.2		
< # 200	FONDO	33.9	4.2	100.0	0.0		
FINO		606.1					
TOTAL		799.3					

OBSERVACIONES:  
Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243523



EQUIVALENTE DE ARENA					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS					
MTC E 114 - ASTM D 2419 - AASHTO T-176 NTP 339.146					
<b>OBRA :</b> Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"			<b>N° ENSAYO :</b> 001 <b>RESP. LAB. :</b> D.C.N. <b>ING° RESP. :</b> D.C.N. <b>HECHO POR :</b> D.C.N. <b>FECHA :</b> 20/07/2022		
<b>UBICACIÓN :</b> Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca <b>SOLICITANTE :</b> Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos <b>MATERIAL :</b> Arena Triturada para asfalto < 3/8" <b>MUESTRA :</b> M-1 <b>CANTERA :</b> Cantera Bazán <b>UBICACIÓN :</b> Acopio en Planta Chancadora					
MUESTRA:		IDENTIFICACIÓN			
M-1		1	2	3	4
Hora de entrada a saturación	hh:mm	09:45	09:47	09:49	/
Hora de salida de saturación (más 10' )	hh:mm	09:55	09:57	09:59	
Hora de entrada a decantación	hh:mm	09:57	09:59	10:01	
Hora de salida de decantación (más 20' )	hh:mm	10:17	10:19	10:21	
Altura máxima de material fino	Pulg.	6.00	5.80	5.80	
Altura máxima de la arena	Pulg.	4.30	4.20	4.20	
Equivalente de arena	%	72	73	73	
<b>Equivalente de arena promedio</b>	%	72.7			
<b>Resultado equivalente de arena</b>	%	73			
<b>Observaciones:</b> Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.					



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518



ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO				
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS				
(MTC E 222)				
OBRA	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"			N° ENSAYO : 1
UBICACIÓN	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca			RESP. LAB. : D.C.N.
SOLICITANTE	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos			ING° RESP. : D.C.N.
MATERIAL	Arena Triturada para asfalto < 3/8"			HECHO POR : D.C.N.
MUESTRA	M-1			FECHA : 20/07/2022
CANTERA	Cantera Bazán			
UBICACIÓN	Acopio en Planta Chancadora			
ENSAYO	N°	1	2	ESPECIFICACIÓN
PESO DEL AGREGADO FINO	(w)	1410.50	1410.90	
VOLUMEN DEL CILINDRO	(v)	934.00	934.00	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADO FINO	G <sub>sb</sub>	2.567	2.567	
VACÍOS NO COMPACTADOS	%	41.2	41.2	Min.30
FÓRMULA:				
$V - \frac{W}{G_{sb} \times 100}$				
PROMEDIO	%	41.2		
OBSERVACIONES:				
Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.				



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

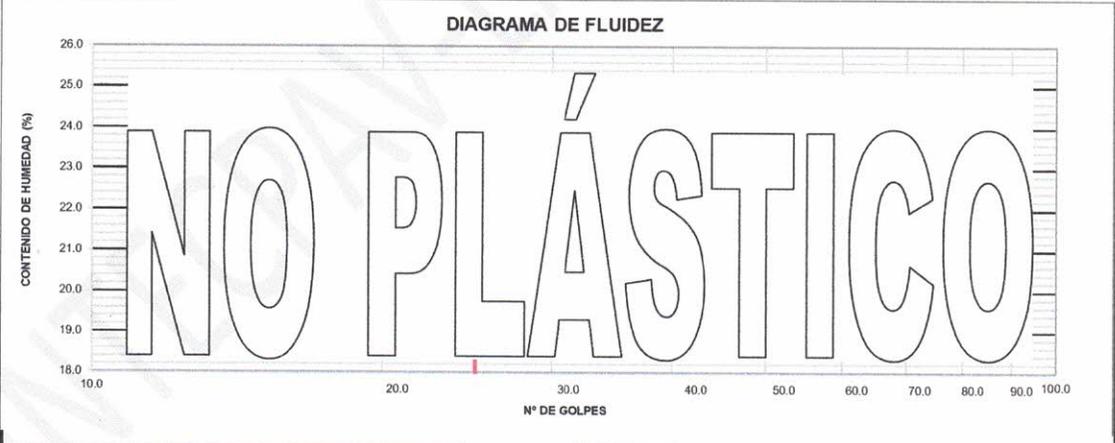
Darwin Grabeel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

<b>DETECCIÓN CUALITATIVA DE ARCILLAS NOCIVAS DEL GRUPO DE ESMECTITA EN AGREGADOS, UTILIZANDO AZUL DE METILENO</b>					
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS</b>					
<b>AASHTO T 330-07 (2011)*</b>					
<b>OBRA</b> : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca" <b>UBICACIÓN</b> : Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca <b>SOLICITANTE</b> : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos : Arena Triturada para asfalto < 3/8" <b>MUESTRA</b> : M-1 <b>CANTERA</b> : Cantera Bazán <b>UBICACIÓN</b> : Acopio en Planta Chancadora	<b>N° ENSAYO</b> : 001  <b>RESP. LAB.</b> : D.C.N. <b>ING° RESP.</b> : D.C.N. <b>HECHO POR</b> : D.C.N. <b>FECHA</b> : 20/07/2022				
<b>RESULTADOS DE ENSAYO DE AZUL DE METILENO</b>					
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">Identificación/Detalle de muestra</th> <th style="width: 40%;">Resultado(mg/g)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Agregado fino (arena triturada ) /Cantera Bazán</td> <td style="text-align: center;"><b>4.87</b></td> </tr> </tbody> </table>		Identificación/Detalle de muestra	Resultado(mg/g)	Agregado fino (arena triturada ) /Cantera Bazán	<b>4.87</b>
Identificación/Detalle de muestra	Resultado(mg/g)				
Agregado fino (arena triturada ) /Cantera Bazán	<b>4.87</b>				
<b>Observaciones:</b> (*) Antes AASHTO TP-57 <i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i>					



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin *[Signature]*  
**Grabiell Castillo Neyra**  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

LÍMITES DE ATTERBERG LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (MALLA N° 40)											
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS											
MTC E 110 Y E 111 - ASTM D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90											
<b>OBRA</b> : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"  <b>UBICACIÓN</b> : Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca  <b>SOLICITANTE</b> : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos <b>MATERIAL</b> : Arena Triturada para asfalto < 3/8" <b>MUESTRA</b> : M-1 <b>CANTERA</b> : Cantera Bazán <b>UBICACIÓN</b> : Acopio en Planta Chancadora	<b>N° ENSAYO</b> : 001  <b>RESP. LAB.</b> : D.C.N. <b>ING° RESP.</b> : D.C.N. <b>HECHO POR</b> : D.C.N. <b>FECHA</b> : 20/07/2022										
LÍMITE LÍQUIDO											
N° TARRO											
TARRO + SUELO HÚMEDO	NO PLÁSTICO										
TARRO + SUELO SECO											
AGUA											
PESO DEL TARRO											
PESO DEL SUELO SECO											
% DE HUMEDAD											
N° DE GOLPES											
LÍMITE PLÁSTICO											
N° TARRO											
TARRO + SUELO HÚMEDO	NO PLÁSTICO										
TARRO + SUELO SECO											
AGUA											
PESO DEL TARRO											
PESO DEL SUELO SECO											
% DE HUMEDAD											
DIAGRAMA DE FLUIDEZ											
											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA</th> <th style="text-align: left;">OBSERVACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LÍMITE LÍQUIDO</td> <td style="text-align: center;">N.P.</td> <td rowspan="3"> <i>Arena no plástica</i>  <i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i> </td> </tr> <tr> <td>LÍMITE PLÁSTICO</td> <td style="text-align: center;">N.P.</td> </tr> <tr> <td>ÍNDICE DE PLASTICIDAD</td> <td style="text-align: center;">N.P.</td> </tr> </tbody> </table>		CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		OBSERVACIONES	LÍMITE LÍQUIDO	N.P.	<i>Arena no plástica</i> <i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i>	LÍMITE PLÁSTICO	N.P.	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P.
CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		OBSERVACIONES									
LÍMITE LÍQUIDO	N.P.	<i>Arena no plástica</i> <i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i>									
LÍMITE PLÁSTICO	N.P.										
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P.										



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
 Darwin Gabriel Castillo Neyra  
 Ingeniero Civil  
 CIP N° 243518

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO										
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS										
MTC E 209 - ASTM C 88 - AASHTO T-104										
<b>OBRA</b>	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"								<b>N° ENSAYO</b> : 1  <b>RESP. LAB.</b> : D.C.N. <b>ING° RESP.</b> : D.C.N. <b>HECHO POR</b> : D.C.N. <b>FECHA</b> : 20/07/2022	
<b>UBICACIÓN</b>	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca									
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos									
<b>MATERIAL</b>	Arena Triturada para asfalto < 3/8"									
<b>MUESTRA</b>	M-1									
<b>CANTERA</b>	Cantera Bazán									
<b>UBICACIÓN</b>	Acopio en Planta Chancadora									
ANÁLISIS CUANTITATIVO										
AGREGADO FINO										
TAMAÑO		Gradación Original (%)	Peso mín. requerido (g)	Peso fracción ensayada	N° de partículas	Peso ret. después de ensayo (g)	Pérdida		Pérdida corregida (%)	N° de partículas
Pasa	Retiene						Peso (gr)	%		
3/8"	N° 04	24.2	100	100	--	99.7	0.3	7.3	1.8	--
N° 04	N° 08	13.6	100	100	--	99.6	0.4	5.4	0.7	--
N° 08	N° 16	27.0	100	100	--	99.6	0.4	10.8	2.9	--
N° 16	N° 30	18.2	100	100	--	99.7	0.3	5.5	1.0	--
N° 30	N° 50	13.9	100	100	--	99.8	0.2	2.8	0.4	--
N° 50	N° 100	10.6	100	100	--	99.7	0.3	3.2	0.3	--
< N° 100		16.7	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>TOTALES</b>		<b>124.2</b>	<b>--</b>	<b>600.0</b>	<b>--</b>	<b>598.1</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>7.13</b>	<b>--</b>
<b>OBSERVACIONES:</b>										
Se empleo Solución:			Sulfato de Magnesio							
<i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i>										



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

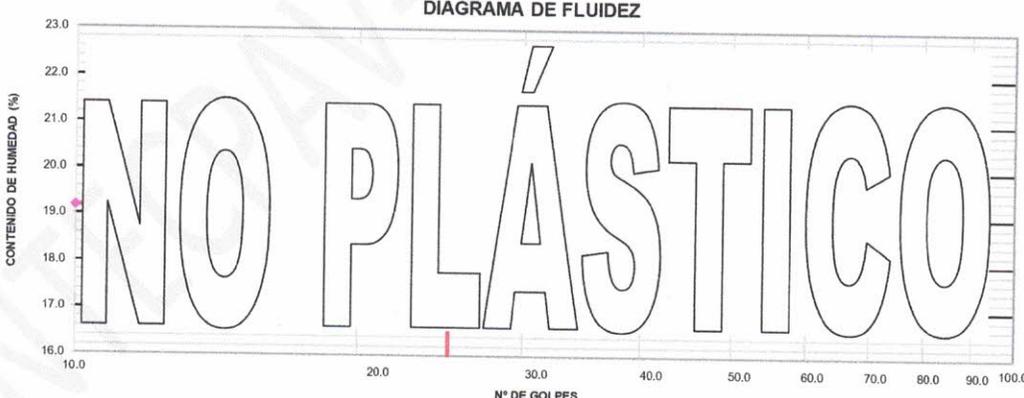
*[Signature]*  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

ÍNDICE DE DURABILIDAD							
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS							
MTC E 214 - AASHTO T-210 - ASTM D 3744							
<b>OBRA</b>	: Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"					<b>N° ENSAYO</b>	: 001
<b>UBICACIÓN</b>	: Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca					<b>RESP. LAB.</b>	: D.C.N.
<b>SOLICITANTE</b>	: Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos					<b>ING° RESP.</b>	: D.C.N.
<b>MATERIAL</b>	: Arena Triturada para asfalto < 3/8"					<b>HECHO POR</b>	: D.C.N.
<b>MUESTRA</b>	: M-1					<b>FECHA</b>	: 20/07/2022
<b>CANTERA</b>	: Cantera Bazán						
<b>UBICACIÓN</b>	: Acopio en Planta Chancadora						
AGREGADO FINO							
MUESTRA	M-1	UNIDAD	IDENTIFICACIÓN				Promedio
			1	2	3	4	
Tamaño máximo (pasa malla N° 4)		mm					
Hora de entrada a saturación		hh:mm	10:55	10:57	10:59		
Hora de salida de saturación (mas 10")		hh:mm	11:05	11:07	11:09		
Hora de entrada a decantación		hh:mm	11:07	11:09	11:11		
Hora de salida de decantación (mas 20")		hh:mm	11:27	11:29	11:31		
Altura máxima de material fino		Pulg.	5.90	5.70	5.80		
Altura máxima de la arena		Pulg.	3.50	3.40	3.50		
<b>Índice de durabilidad</b>		%	60	60	61		61
<b>Observaciones:</b>							
: Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.							



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

LÍMITES DE ATTERBERG LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (MALLA N° 200)			
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS			
MTC E 110 Y E 111 - ASTM D 4318 - AASHTO T-89 Y T-90			
<b>OBRA</b>	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"		
<b>UBICACIÓN</b>	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca		<b>N° ENSAYO</b> : 001
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos		<b>RESP. LAB.</b> : D.C.N.
<b>MATERIAL</b>	Arena Triturada para asfalto < 3/8"		<b>ING° RESP.</b> : D.C.N.
<b>MUESTRA</b>	M-1		<b>HECHO POR</b> : D.C.N.
<b>CANTERA</b>	Cantera Bazán		<b>FECHA</b> : 20/07/2022
<b>UBICACIÓN</b>	Acopio en Planta Chancadora		
LÍMITE LÍQUIDO			
N° TARRO			NO PLÁSTICO
TARRO + SUELO HÚMEDO			
TARRO + SUELO SECO			
AGUA			
PESO DEL TARRO			
PESO DEL SUELO SECO			
% DE HUMEDAD			
N° DE GOLPES			
LÍMITE PLÁSTICO			
N° TARRO			NO PLÁSTICO
TARRO + SUELO HÚMEDO			
TARRO + SUELO SECO			
AGUA			
PESO DEL TARRO			
PESO DEL SUELO SECO			
% DE HUMEDAD			
DIAGRAMA DE FLUIDEZ			
			
<b>CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA</b>		<b>OBSERVACIONES</b>	
LÍMITE LÍQUIDO	N.P.	Arena no plástica Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.	
LÍMITE PLÁSTICO	N.P.		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P.		



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
 Darwin *[Signature]*  
 Gabriel Castillo Neyra  
 Ingeniero Civil  
 CIP N° 243518

CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS					
MTC 219 - 2000					
<b>OBRA</b>	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"				
<b>UBICACIÓN</b>	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca				<b>N° ENSAYO</b> : 001
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos				<b>RESP. LAB.</b> : D.C.N.
<b>MATERIAL</b>	Arena Triturada para asfalto < 3/8"				<b>ING° RESP.</b> : D.C.N.
<b>MUESTRA</b>	M-1				<b>HECHO POR</b> : D.C.N.
<b>CANTERA</b>	Cantera Bazán				<b>FECHA</b> : 20/07/2022
<b>UBICACIÓN</b>	Acopio en Planta Chancadora				
AGREGADO FINO					
MUESTRA :	IDENTIFICACION				Promedio
ENSAYO N°	1	2	3	4	
(1) Peso muestra (gr)	192.30	195.80	190.80	/	
(2) Volumen aforo (ml)	500.00	500.00	500.00	/	
(3) Volumen alicuota (ml)	50.00	50.00	50.00	/	
(4) Peso masa cristalizada (gr)	0.01	0.01	0.01	/	
(5) Porcentaje de sales (%) $(100/((3) \times (1)) / ((4) \times (2)))$	0.0654	0.0657	0.0677	/	0.0663%
<b>Observaciones :</b>					
<i>Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.</i>					



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyfa  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

(NORMA AASHTO T-84, T-85)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

OBRA : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"

N° ENSAYO : 1

SOLICITANTE : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos

RESP. LAB. : D.C.N.

MATERIAL : Arena Triturada para asfalto < 3/8"

ING° RESP. : D.C.N.

MUESTRA : M-1

HECHO POR : D.C.N.

CANTERA : Cantera Bazán

FECHA : 20/07/2022

UBICACIÓN : Acopio en Planta Chancadora

**DATOS DE LA MUESTRA**

**GRAVEDAD ESPECÍFICA - AGREGADO FINO**

A	Peso material saturado superficialmente seco ( en Aire ) (gr)	500.0	500.0	500.0	
B	Peso frasco + agua (gr)	659.3	659.7	658.8	
C	Peso frasco + agua + A (gr)	1159.3	1159.7	1158.8	
D	Peso del material + agua en el frasco (gr)	965.5	965.2	965.3	
E	Volumen de masa + volumen de vacío = C-D (cm3)	193.8	194.5	193.5	
F	Peso de material seco en estufa (105°C) (gr)	497.9	497.8	497.9	
G	Volumen de masa = E - ( A - F ) (cm3)	191.7	192.3	191.4	<b>PROMEDIO</b>
	Pe bulk ( Base seca ) = F/E	2.569	2.559	2.573	<b>2.567</b>
	Pe bulk ( Base saturada ) = A/E	2.580	2.571	2.584	2.578
	Pe aparente ( Base seca ) = F/G	2.597	2.589	2.601	2.596
	% de absorción = ((A - F)/F)*100	0.422	0.442	0.422	<b>0.43%</b>

**OBSERVACIONES:**

Muestra extraída de acopio temporal ubicada en la planta chancadora de la Cantera Bazán.



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**RESUMEN DE RESULTADOS**  
**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN**  
**CALIENTE**  
**HUSO GRANULOMÉTRICO D5**  
**ASTM D 3515**

**PROYECTO: TESIS: "INFLUENCIA DE LA**  
**INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO**  
**RECICLADO EN LOS PAVIMENTOS DE UNA**  
**MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA LA**  
**CIUDAD DE CAJAMARCA"**

**SOLICITANTE: BACH. HÉCTOR ISAAC AYALA**  
**HOYOS**

**SETIEMBRE 2022**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**

OBRA / PROYECTO	:	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca
SOLICITANTE	:	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos
MATERIAL	:	Mezcla Asfáltica en Caliente (Patrón)
PROCEDENCIA	:	Cantera Bazán
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca

FECHA: 15/09/2022

**RESUMEN DE RESULTADOS - ENSAYO MARSHALL  
(NORMA ASTM D 1559 / AASHTO T 245)**

% Cemento Asfáltico	Peso			Volumen de la Probeta	Peso Específico			Vacíos al Aire (%)	V.M.A. (%)	Vacíos Llenados C.A. (%)	Flujo (mm)	Carga (kg)	Índice Rigidez (Kg/cm)
	Peso Briqueta al Aire	Peso Probeta Saturada	Peso Probeta en el Agua		Bulk de la Briqueta	Máximo Rice	Máxima Densidad Teórica						
4.50	1199.9	1201.2	661.9	539.3	2.225	2.366	2.405	5.96	16.50	63.86	3.30	1129	3419.2
	1203.2	1205.7	660.9	544.8	2.209	2.366	2.405	6.66	17.12	63.86	3.30	1163	3520.6
	1211.7	1213.1	668.1	545.0	2.223	2.366	2.405	6.03	16.56	63.86	3.30	1166	3531.9
<b>Promedio</b>					<b>2.219</b>	<b>2.366</b>	<b>2.405</b>	<b>6.22</b>	<b>16.73</b>	<b>63.86</b>	<b>3.30</b>	<b>1153</b>	<b>3490.6</b>

% Cemento Asfáltico	Peso			Volumen de la Probeta	Peso Específico			Vacíos al Aire (%)	V.M.A. (%)	Vacíos Llenados C.A. (%)	Flujo (mm)	Carga (kg)	Índice Rigidez (Kg/cm)
	Peso Briqueta al Aire	Peso Probeta Saturada	Peso Probeta en el Agua		Bulk de la Briqueta	Máximo Rice	Máxima Densidad Teórica						
5.00	1210.0	1211.5	670.2	541.3	2.235	2.344	2.389	4.63	16.55	71.99	3.43	1311	3824.1
	1214.2	1215.9	671.3	544.6	2.230	2.344	2.389	4.88	16.76	70.87	3.43	1350	3938.1
	1203.8	1204.6	663.8	540.8	2.226	2.344	2.389	5.04	16.90	70.20	3.56	1356	3813.1
<b>Promedio</b>					<b>2.230</b>	<b>2.344</b>	<b>2.389</b>	<b>4.85</b>	<b>16.74</b>	<b>71.02</b>	<b>3.47</b>	<b>1339</b>	<b>3858.4</b>

% Cemento Asfáltico	Peso			Volumen de la Probeta	Peso Específico			Vacíos al Aire (%)	V.M.A. (%)	Vacíos Llenados C.A. (%)	Flujo (mm)	Carga (kg)	Índice Rigidez (Kg/cm)
	Peso Briqueta al Aire	Peso Probeta Saturada	Peso Probeta en el Agua		Bulk de la Briqueta	Máximo Rice	Máxima Densidad Teórica						
5.50	1210.9	1211.3	668.2	543.1	2.230	2.329	2.372	4.27	17.20	75.19	3.68	1625	4411.4
	1211.7	1212.9	669.1	543.8	2.228	2.329	2.372	4.33	17.25	74.91	3.56	1660	4668.3
	1199.8	1201.1	662.2	538.9	2.226	2.329	2.372	4.41	17.32	74.56	3.81	1783	4679.3
<b>Promedio</b>					<b>2.228</b>	<b>2.329</b>	<b>2.372</b>	<b>4.33</b>	<b>17.26</b>	<b>74.89</b>	<b>3.68</b>	<b>1689</b>	<b>4586.3</b>

% Cemento Asfáltico	Peso			Volumen de la Probeta	Peso Específico			Vacíos al Aire (%)	V.M.A. (%)	Vacíos Llenados C.A. (%)	Flujo (mm)	Carga (kg)	Índice Rigidez (Kg/cm)
	Peso Briqueta al Aire	Peso Probeta Saturada	Peso Probeta en el Agua		Bulk de la Briqueta	Máximo Rice	Máxima Densidad Teórica						
6.00	1210.2	1211.9	674.9	537.0	2.254	2.308	2.356	2.36	16.75	85.94	4.06	1631	4013.8
	1198.3	1199.2	668.7	530.5	2.259	2.308	2.356	2.13	16.56	87.13	4.06	1627	4003.9
	1207.3	1208.2	675.9	532.3	2.268	2.308	2.356	1.73	16.22	89.33	4.06	1668	4105.5
<b>Promedio</b>					<b>2.260</b>	<b>2.308</b>	<b>2.356</b>	<b>2.07</b>	<b>16.51</b>	<b>87.47</b>	<b>4.06</b>	<b>1642</b>	<b>4041.1</b>

% Cemento Asfáltico	Peso			Volumen de la Probeta	Peso Específico			Vacíos al Aire (%)	V.M.A. (%)	Vacíos Llenados C.A. (%)	Flujo (mm)	Carga (kg)	Índice Rigidez (Kg/cm)
	Peso Briqueta al Aire	Peso Probeta Saturada	Peso Probeta en el Agua		Bulk de la Briqueta	Máximo Rice	Máxima Densidad Teórica						
6.50	1201.1	1202.3	668.1	534.2	2.248	2.280	2.340	1.39	17.39	92.03	4.19	1622	3871.2
	1197.3	1198.5	666.2	532.3	2.249	2.280	2.340	1.35	17.35	92.24	4.06	1618	3980.3
	1202.7	1202.8	668.0	534.8	2.249	2.280	2.340	1.36	17.37	92.14	4.32	1579	3657.2
<b>Promedio</b>					<b>2.249</b>	<b>2.280</b>	<b>2.340</b>	<b>1.37</b>	<b>17.37</b>	<b>92.14</b>	<b>4.19</b>	<b>1606</b>	<b>3836.2</b>

OBSERVACIONES : El cemento asfáltico empleado para la elaboración de los testigos de asfalto es de tipo CAP PEN 60/70.



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**

OBRA / PROYECTO : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"

UBICACIÓN : Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca

SOLICITANTE : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos

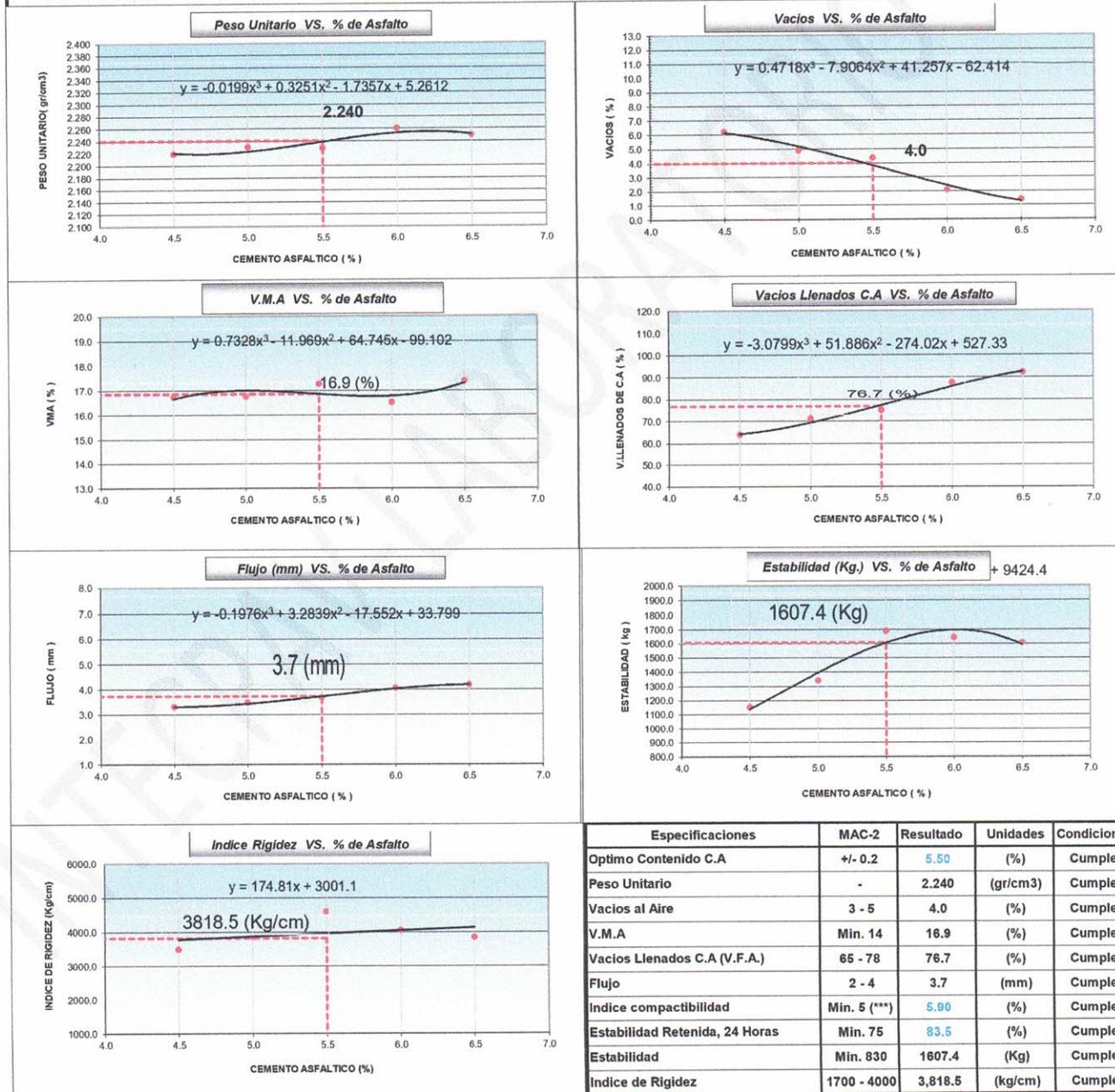
MATERIAL : Mezcla Asfáltica en Caliente (Patrón)

PROCEDENCIA : Cantera Bazán PEN 60/70

FECHA: 13/09/2022

UBICACIÓN : Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca

**GRÁFICOS MARSHALL  
(NORMA ASTM D 1559 / AASHTO T 245)**



**OBSERVACIONES :** El cemento asfáltico empleado para la elaboración de los testigos de asfalto es de tipo CAP PEN 60/70.



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
 Darwin Gabriel Castillo Neyra  
 Ingeniero Civil  
 CIP N° 243518



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
RESULTADOS DEL DISEÑO			
OBRA/ PROYECTO	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"		FECHA : 13-09-22
UBICACIÓN	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca		
SOLICITANTE	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos	ING. RESP.:	D.C.N.
MATERIAL	Combinación de agregados para Mezcla Asfáltica en Caliente	TIPO DE C.A.:	60 - 70
PROCEDENCIA	Cantera Bazán		
UBICACIÓN	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca		
MEZCLA ASFÁLTICA			
ESPECIFICACIONES MARSHALL	OBTENIDO	ESPECIFICACION EG-2013	EVALUACIÓN
OPTIMO CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO - CAP PEN 60/70 (%)	5.50	SEGÚN DISEÑO	
PESO UNITARIO (g/cm <sup>3</sup> )	2.240	SEGÚN DISEÑO	
VACÍOS (%)	4.0	3-5	APROBADO
V.M.A. (%)	16.9	MIN 14	APROBADO
VFA (%)	76.7	65 - 78%	APROBADO
FLUJO (mm)	3.7	2-4	APROBADO
ESTABILIDAD (kg)	1607.4	MIN 815	APROBADO
INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)	3818.5	1700-4000	APROBADO
ESTABILIDAD RETENIDA (%)	83.5	MIN 70%	APROBADO
INDICE DE COMPACTIBILIDAD	5.90	MIN 5	APROBADO

DOSIFICACIÓN				
CEMENTO ASFÁLTICO (60-70)		5.50%		REFERENCIA SÓLO A CURVA GRANULOMÉTRICA
GRAVA CHANCADA 3/4"	Cantera Bazán	30.0%	GRAVA	47
ARENA CHANCADA < 3/8"	Cantera Bazán	70.0%	ARENA	53
			AGREGADO TOTAL	100.0
TEMPERATURAS DE TRABAJO				
TEMPERATURA DE AGREGADOS		150 °C		
TEMPERATURA DE MEZCLADO		149 °C - 154 °C		
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN		140 °C - 143 °C		



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

## **DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE HUSO GRANULOMÉTRICO D5 ASTM D 3515**

**PROYECTO: TESIS: "INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO RECICLADO EN LOS PAVIMENTOS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA LA CIUDAD DE CAJAMARCA"**

### **GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS**

**SOLICITANTE: BACH. HÉCTOR ISAAC AYALA HOYOS**

**SETIEMBRE 2022**

**INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.**

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS, DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE  
SUMINISTRO DE INSUMOS, ADITIVOS Y AGREGADOS PARA OBRAS CIVILES  
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL PARA CARRETERAS  
VENTA Y ALQUILER DE EQUIPOS DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS					
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE					
ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS					
MTC E-206- 2000, ASTM C- 127, AASHTO T-85					
OBRA / PROYECTO	:	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"			RESP. LAB.: D.C.N.
UBIACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca			
CLIENTE	:	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos			ING. RESP.: D.C.N.
MATERIAL	:	MEZCLA DE AGREGADOS PÉTREOS			FECHA: 13/09/2022
PROCEDENCIA	:	Cantera Bazán			
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca			
AGREGADO GRUESO AASHTO T- 85					
		IDENTIFICACION			Promedio
		1	2	3	
Peso mat. Sat. Superf. Seco (en aire)	(gr.)	1500.00	1500.00	1500.00	
Peso mat. Sat. Superf. Seco (en agua)	(gr.)	910.50	910.10	910.80	
Volumen de masa+volumen de vacios	(cm3)	589.50	589.90	589.20	
Peso de material seco (105°C)	(gr.)	1488.20	1488.30	1488.20	
Volumen de masa	(cm3)	577.70	578.20	577.40	
Peso Bulk (base seca)	(Kg/m3)	2525	2523	2526	2524
Peso Bulk (base saturada)	(Kg/m3)	2545	2543	2546	2544
Peso aparente (base seca)	(Kg/m3)	2576	2574	2577	2576
Porcentaje de absorción	(%)	0.79	0.79	0.79	0.79
AGREGADO FINO AASHTO T- 84					
		IDENTIFICACION			Promedio
		1	2	3	
Peso mat. Sat. Superf. Seco (en aire)	(gr.)	500.0	500.0	500.0	
Peso frasco + agua (25°C)	(gr.)	659.5	659.2	658.9	
Peso de frasco + agua (25°C) + Peso mat. Sat.Sup.Seco	(gr.)	1159.5	1159.2	1158.9	
Peso de (mat. Sat. Superf. Seco + agua en el frasco)	(gr.)	965.2	965.1	965.3	
Volumen de la masa + volumen de vacios	(cm3)	194.3	194.1	193.6	
Peso de material seco (105°C)	(gr.)	497.3	497.1	497.1	
Volumen de masa	(cm3)	191.6	191.2	190.7	
Peso Bulk (base seca)	(Kg/m3)	2559	2561	2568	2563
Peso Bulk (base saturada)	(Kg/m3)	2573	2576	2583	2577
Peso aparente (base seca)	(Kg/m3)	2596	2600	2607	2601
Porcentaje de absorción	(%)	0.54	0.58	0.58	0.57
OBSERVACIONES: Mezcla de Agregados de acuerdo a la Combinación de agregados del diseño Patrón sin Caucho.					



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243548

# **DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE HUSO GRANULOMÉTRICO D5 ASTM D 3515**

**PROYECTO: TESIS: "INFLUENCIA DE LA  
INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO  
RECICLADO EN LOS PAVIMENTOS DE UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA LA  
CIUDAD DE CAJAMARCA"**

## **COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS**

**SOLICITANTE: BACH. HÉCTOR ISAAC AYALA  
HOYOS**

**SETIEMBRE 2022**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

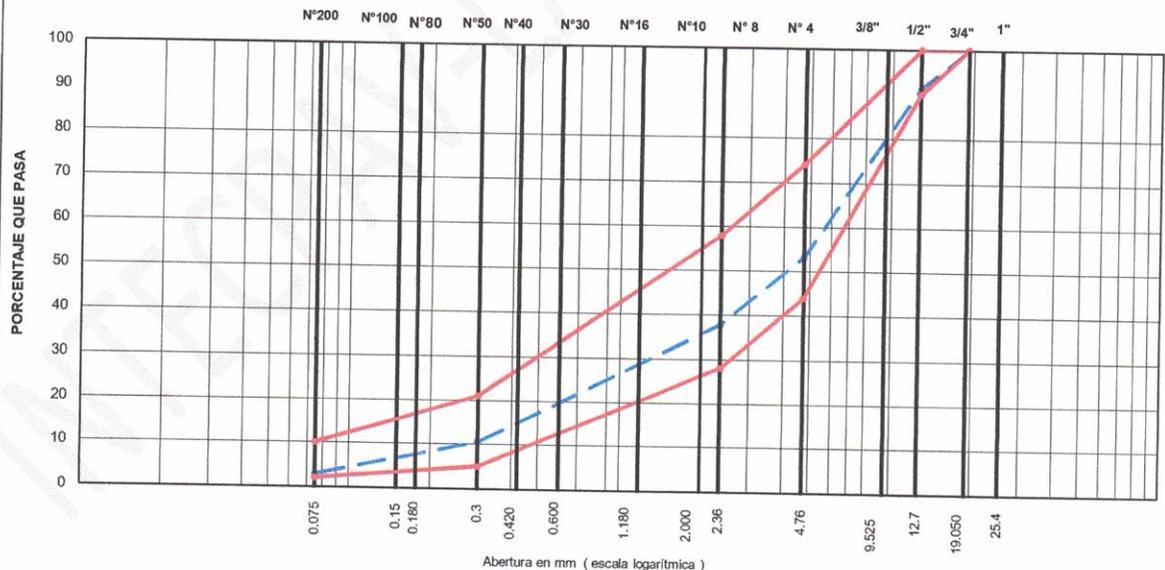
COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

OBRA / PROYECTO	: Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"	RESP. LAB.	: D.C.N.
UBICACIÓN	: Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca	ING° RESP.	: D.C.N.
SOLICITANTE	: Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos	HECHO POR	: D.C.N.
MATERIAL	: Combinación de agregados para Mezcla Asfáltica en Caliente	FECHA	: 13/09/2022
PROCEDENCIA	: Cantera Bazán		
UBICACIÓN	: Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca		

TAMICEZ	Fajas por agregados a intervenir				Mezcla MAC			Chequeo
		Arena Triturada	Grava Triturada	Comb. Teórica	Especific. HUSO D5 - ASTM D 3515			
		Cantera Bazán < 3/8"	Cantera Bazán < 3/4" - 1/2"					
		70.0%	30.0%					
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100	100	ok	
1/2"	12.700	100.0	71.1	91.3	90	100	ok	
3/8"	9.525	100.0	2.6	70.8				
# 4	4.760	75.8	0.5	53.2	44	74	ok	
# 8	2.360	54.0	0.5	38.0				
# 10	2.000							
# 16	1.180	38.7	0.5	27.2				
# 30	0.600	29.1	0.5	20.5				
# 40	0.420							
# 50	0.300	15.0	0.0	10.5	5	21	ok	
# 80	0.177							
# 100	0.150	5.6	0.0	3.9				
# 200	0.075	4.2	0.0	2.9	2	10	ok	

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA COMBINACIÓN TEÓRICA



Observaciones: % de agregados definido con el TAMIZ N° 4

Grava: 47 %  
Arena: 53 %  
Total de Agregados: 100 %

ESPECIFICACIONES: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EG-2013 DEL MTC. CAPITULO 4: PAVIMENTOS - PAVIMENTOS FLEXIBLES (SECCIÓN 423: PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE) TABLA 423-03 GRADACION PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Grabel Casillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 24618

## **DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE HUSO GRANULOMÉTRICO D5 ASTM D 3515**

**PROYECTO: TESIS: "INFLUENCIA DE LA  
INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO  
RECICLADO EN LOS PAVIMENTOS DE UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA LA  
CIUDAD DE CAJAMARCA"**

**ENSAYOS MARSHALL**

**CON 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% Y 6.5%**

**DE CEMENTO ASFÁLTICO**

**SOLICITANTE: BACH. HÉCTOR ISAAC AYALA  
HOYOS**

**SETIEMBRE 2022**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**

OBRA / PROYECTO : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"

UBICACIÓN : Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca

SOLICITANTE : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos

MATERIAL : Mezcla Asfáltica en Caliente (Patrón)

PROCEDENCIA : Cantero Bazán PEN 60/70 FECHA: 13/09/2022

UBICACIÓN : Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca

**ENSAYO MARSHALL**  
(MTC E-504 / ASTM D 1559 / AASHTO T-245)

PROBETAS		1	2	3	4	Prom.
1	C.A. En peso de la mezcla	%	4.5			
2	% De Grava Triturada en peso de la mezcla ( Mayor N° 4 )	%	44.7			
3	% De Arenas Combinadas en peso de la mezcla ( Menor N° 4 )	%	50.8			
4	% Filler en Peso de la Mezcla ( mínimo 65 % pasa malla N° 200 )	%	0.00			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.	g/cm³	1.0303			
6	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	g/cm³	2.524			
7	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	g/cm³	2.576			2.550
8	Peso Especifico Bulk de La Arena ( Menor N° 4 )	g/cm³	2.563			
9	Peso Especifico Aparente de La Arena ( Menor N° 4 )	g/cm³	2.601			2.582
10	Peso Especifico Aparente del Filler	g/cm³				
11	Altura Promedio de la Briqueta	cm				
12	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1199.9	1203.2	1211.7	
13	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1201.2	1205.7	1213.1	
14	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	661.9	660.9	668.1	
15	Volumen de la Probeta	cc	539.3	544.8	545.0	
16	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	g/cm³	2.225	2.209	2.223	PROMEDIO
17	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	g/cm³		2.366		2.219
18	Máxima Densidad Teórica	g/cm³		2.405		
19	% Vacios	%	5.96	6.86	6.03	6.22
20	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	g/cm³		2.545		
21	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	g/cm³		2.589		
22	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	g/cm³		2.567		
23	C.A. Absorbido por el Peso Agregado Seco	%		0.35		
24	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	83.50	82.88	83.44	
25	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	10.54	10.46	10.53	
26	% de vacios del Agregado Mineral	%	16.50	17.12	16.56	16.73
27	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%		4.17		
28	Relacion Betun Vacios	%	63.86	61.11	63.58	62.85
29	Lectura del Anillo	pulg.				
30	Estabilidad Sin Corregir (Lectura)	kg	1214	1250	1254	
31	Factor de Estabilidad		0.93	0.93	0.93	
32	Estabilidad Corregida	kg	1129	1163	1166	1152.6
33	Lectura del Flexímetro ( 0.01" )	pulg.	13.0	13.0	13.0	
34	Fluencia	mm.	3.30	3.30	3.30	3.30
35	Factor de Rigidez	Kg/cm	3419	3521	3532	3491

**OBSERVACIONES :**

El cemento asfáltico empleado para la elaboración de los testigos de asfalto es de tipo CAP PEN 60/70.



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS							
OBRA / PROYECTO	:	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"					
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca					
SOLICITANTE	:	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos					
MATERIAL	:	Mezcla Asfáltica en Caliente (Patrón)					
PROCEDENCIA	:	Cantera Bazán	PEN 60/70	FECHA:	13/09/2022		
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca					
ENSAYO MARSHALL (MTC E-504 / ASTM D 1559 / AASHTO T-245)							
PROBETAS			1	2	3	4	Prom.
1	C.A. En peso de la mezcla	%		5,0			
2	% De Grava Triturada en peso de la mezcla ( Mayor N° 4 )	%		44,5			
3	% De Arenas Combinadas en peso de la mezcla ( Menor N° 4 )	%		50,5			
4	% Filler en Peso de la Mezcla ( mínimo 65 % pasa malla N° 200 )	%		0,00			
5	Peso Específico Aparente del C.A.	g/cm³		1.0303			
6	Peso Específico Bulk de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	g/cm³		2.524			
7	Peso Específico Aparente de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	g/cm³		2.576			2.550
8	Peso Específico Bulk de La Arena ( Menor N° 4 )	g/cm³		2.563			
9	Peso Específico Aparente de La Arena ( Menor N° 4 )	g/cm³		2.601			2.582
10	Peso Específico Aparente del Filler	g/cm³					
11	Altura Promedio de la Briqueta	cm					
12	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1210.0	1214.2	1203.8		
13	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1211.5	1215.9	1204.6		
14	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	670.2	671.3	663.8		
15	Volumen de la Probeta	cc	541.3	544.6	540.8		PROMEDIO
16	Peso Específico Bulk de la Briqueta	g/cm³	2.235	2.230	2.226		2.230
17	Peso Específico Máximo ASTM D - 2041 Rice	g/cm³		2.344			
18	Máxima Densidad Teórica	g/cm³		2.389			
19	% Vacíos	%	4.63	4.88	5.04		4.85
20	Peso Específico Bulk del Agregado Total	g/cm³		2.545			
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	g/cm³		2.589			
22	Peso Específico Efectivo del Agregado Total	g/cm³		2.567			
23	C.A. Absorbido por el Peso Agregado Seco	%		0.35			
24	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	83.45	83.24	83.10		
25	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	11.91	11.88	11.86		
26	% de vacíos del Agregado Mineral	%	16.55	16.76	16.90		16.74
27	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%		4.67			
28	Relacion Betun Vacíos	%	71.99	70.87	70.20		71.02
29	Lectura del Anillo	pulg.					
30	Estabilidad Sin Corregir (Lectura)	kg	1410	1452	1458		
31	Factor de Estabilidad		0.93	0.93	0.93		
32	Estabilidad Corregida	kg	1311	1350	1356		1339.2
33	Lectura del Flexímetro ( 0.01" )	pulg.	13.5	13.5	14.0		
34	Fluencia	mm.	3.43	3.43	3.56		3.47
35	Factor de Rigidez	Kg/cm	3824	3938	3813		3858
<b>OBSERVACIONES :</b>		El cemento asfáltico empleado para la elaboración de los testigos de asfalto es de tipo CAP PEN 60/70.					



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.**

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS, DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE  
SUMINISTRO DE INSUMOS, ADITIVOS Y AGREGADOS PARA OBRAS CIVILES  
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL PARA CARRETERAS  
VENTA Y ALQUILER DE EQUIPOS DE LABORATORIO

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS**

OBRA / PROYECTO : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"

UBICACIÓN : Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca

SOLICITANTE : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos

MATERIAL : Mezcla Asfáltica en Caliente (Patrón)

PROCEDENCIA : Cantera Bazán PEN 60/70 FECHA: 13/09/2022

UBICACIÓN : Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca

**ENSAYO MARSHALL  
(MTC E-504 / ASTM D 1559 / AASHTO T-245)**

	PROBETAS		1	2	3	4	Prom.
1	C.A. En peso de la mezcla	%		5.5			
2	% De Grava Triturada en peso de la mezcla ( Mayor N° 4 )	%		44.2			
3	% De Arenas Combinadas en peso de la mezcla ( Menor N° 4 )	%		50.3			
4	% Filler en Peso de la Mezcla ( mínimo 65 % pasa malla N° 200 )	%		0.00			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.	g/cm³		1.0303			
6	Peso Especifico Bulk de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	g/cm³		2.524			
7	Peso Especifico Aparente de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	g/cm³		2.576			2.550
8	Peso Especifico Bulk de La Arena ( Menor N° 4 )	g/cm³		2.563			
9	Peso Especifico Aparente de La Arena ( Menor N° 4 )	g/cm³		2.601			2.582
10	Peso Especifico Aparente del Filler	g/cm³					
11	Altura Promedio de la Briqueta	cm					
12	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1210.9	1211.7	1199.8		
13	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1211.3	1212.9	1201.1		
14	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	668.2	669.1	662.2		
15	Volumen de la Probeta	cc	543.1	543.8	538.9		PROMEDIO
16	Peso Especifico Bulk de la Briqueta	g/cm³	2.230	2.228	2.226		2.228
17	Peso Especifico Máximo ASTM D - 2041 Rice	g/cm³		2.329			
18	Máxima Densidad Teórica	g/cm³		2.372			
19	% Vacios	%	4.27	4.33	4.41		4.33
20	Peso Especifico Bulk del Agregado Total	g/cm³		2.545			
21	Peso Especifico Aparente del Agregado Total	g/cm³		2.589			
22	Peso Especifico Efectivo del Agregado Total	g/cm³		2.567			
23	C.A Absorbido por el Peso Agregado Seco	%		0.35			
24	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	82.80	82.75	82.68		
25	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	12.93	12.92	12.91		
26	% de vacios del Agregado Mineral	%	17.20	17.25	17.32		17.26
27	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%		5.17			
28	Relacion Betun Vacios	%	75.19	74.91	74.56		74.89
29	Lectura del Anillo	pulg.					
30	Estabilidad Sin Corregir (Lectura)	kg	1747	1785	1917		
31	Factor de Estabilidad		0.93	0.93	0.93		
32	Estabilidad Corregida	kg	1625	1660	1783		1689.2
33	Lectura del Flexímetro ( 0.01" )	pulg.	14.5	14.0	15.0		
34	Fluencia	mm.	3.68	3.56	3.81		3.68
35	Factor de Rigidez	Kg/cm	4411	4668	4679		4586

**OBSERVACIONES :**

El cemento asfáltico empleado para la elaboración de los testigos de asfalto es de tipo CAP PEN 60/70.



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Graniel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518



**INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.**

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS, DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE  
SUMINISTRO DE INSUMOS, ADITIVOS Y AGREGADOS PARA OBRAS CIVILES  
SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL PARA CARRETERAS  
VENTA Y ALQUILER DE EQUIPOS DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS							
OBRA / PROYECTO	:	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"					
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca					
SOLICITANTE	:	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos					
MATERIAL	:	Mezcla Asfáltica en Caliente (Patrón)					
PROCEDENCIA	:	Cantera Bazán	PEN 60/70	FECHA:	13/09/2022		
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca					
ENSAYO MARSHALL (MTC E-504 / ASTM D 1559 / AASHTO T-245)							
PROBETAS			1	2	3	4	Prom.
1	C.A. En peso de la mezcla	%		6.0			
2	% De Grava Triturada en peso de la mezcla ( Mayor N° 4 )	%		44.0			
3	% De Arenas Combinadas en peso de la mezcla ( Menor N° 4 )	%		50.0			
4	% Filler en Peso de la Mezcla ( mínimo 65 % pasa malla N° 200 )	%		0.00			
5	Peso Específico Aparente del C.A.	g/cm <sup>3</sup>		1.0303			
6	Peso Específico Bulk de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	g/cm <sup>3</sup>		2.524			
7	Peso Específico Aparente de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	g/cm <sup>3</sup>		2.576			2.550
8	Peso Específico Bulk de La Arena ( Menor N° 4 )	g/cm <sup>3</sup>		2.563			
9	Peso Específico Aparente de La Arena ( Menor N° 4 )	g/cm <sup>3</sup>		2.601			2.582
10	Peso Específico Aparente del Filler	g/cm <sup>3</sup>					
11	Altura Promedio de la Briqueta	cm					
12	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1210.2	1198.3	1207.3		
13	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1211.9	1199.2	1208.2		
14	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	674.9	668.7	675.9		
15	Volumen de la Probeta	cc	537.0	530.5	532.3		PROMEDIO
16	Peso Específico Bulk de la Briqueta	g/cm <sup>3</sup>	2.254	2.259	2.268		2.260
17	Peso Específico Máximo ASTM D - 2041 Rice	g/cm <sup>3</sup>		2.308			
18	Máxima Densidad Teórica	g/cm <sup>3</sup>		2.356			
19	% Vacíos	%	2.36	2.13	1.73		2.07
20	Peso Específico Bulk del Agregado Total	g/cm <sup>3</sup>		2.545			
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	g/cm <sup>3</sup>		2.589			
22	Peso Específico Efectivo del Agregado Total	g/cm <sup>3</sup>		2.567			
23	C.A. Absorbido por el Peso Agregado Seco	%		0.35			
24	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	83.25	83.44	83.78		
25	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	14.39	14.43	14.49		
26	% de vacíos del Agregado Mineral	%	16.75	16.56	16.22		16.51
27	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%		5.67			
28	Relacion Betun Vacíos	%	85.94	87.13	89.33		87.47
29	Lectura del Anillo	pulg.					
30	Estabilidad Sin Corregir (Lectura)	kg	1754	1695	1738		
31	Factor de Estabilidad		0.93	0.96	0.96		
32	Estabilidad Corregida	kg	1631	1627	1668		1642.3
33	Lectura del Flexímetro ( 0.01" )	pulg.	16.0	16.0	16.0		
34	Fluencia	mm.	4.06	4.06	4.06		4.06
35	Factor de Rigidez	Kg/cm	4014	4004	4106		4041
<b>OBSERVACIONES :</b>		El cemento asfáltico empleado para la elaboración de los testigos de asfalto es de tipo CAP PEN 60/70.					



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS							
OBRA / PROYECTO	:	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"					
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca					
SOLICITANTE	:	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos					
MATERIAL	:	Mezcla Asfáltica en Caliente (Patrón)					
PROCEDENCIA	:	Cantera Bazán	PEN 60/70	FECHA:	13/09/2022		
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca					
ENSAYO MARSHALL (MTC E-504 / ASTM D 1559 / AASHTO T-245)							
PROBETAS			1	2	3	4	Prom.
1	C.A. En peso de la mezcla	%		6.5			
2	% De Grava Triturada en peso de la mezcla ( Mayor N° 4 )	%		43.7			
3	% De Arenas Combinadas en peso de la mezcla ( Menor N° 4 )	%		49.8			
4	% Filler en Peso de la Mezcla ( mínimo 65 % pasa malla N° 200 )	%		0.00			
5	Peso Específico Aparente del C.A.	g/cm³		1.0303			
6	Peso Específico Bulk de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	g/cm³		2.524			
7	Peso Específico Aparente de la Grava Triturada ( Mayor N° 4 )	g/cm³		2.576			2.550
8	Peso Específico Bulk de La Arena ( Menor N° 4 )	g/cm³		2.563			
9	Peso Específico Aparente de La Arena ( Menor N° 4 )	g/cm³		2.801			2.582
10	Peso Específico Aparente del Filler	g/cm³					
11	Altura Promedio de la Briqueta	cm					
12	Peso de la Briqueta al Aire	gr.	1201.1	1197.3	1202.7		
13	Peso de la Probeta Saturada	gr.	1202.3	1198.5	1202.8		
14	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	668.1	666.2	668.0		
15	Peso de la Probeta En el Agua	cc	534.2	532.3	534.8		
16	Peso Específico Bulk de la Briqueta	g/cm³	2.248	2.249	2.249		PROMEDIO 2.249
17	Peso Específico Máximo ASTM D - 2041 Rice	g/cm³		2.280			
18	Máxima Densidad Teórica	g/cm³		2.340			
19	% Vacíos	%	1.39	1.35	1.36		1.37
20	Peso Específico Bulk del Agregado Total	g/cm³		2.545			
21	Peso Específico Aparente del Agregado Total	g/cm³		2.589			
22	Peso Específico Efectivo del Agregado Total	g/cm³		2.567			
23	C.A. Absorbido por el Peso Agregado Seco	%		0.35			
24	% del Volumen del agregado /Volumen Bruto de la Probeta	%	82.61	82.65	82.63		
25	% del Volumen de C.A. Efectivo /Volumen de la Probeta	%	16.00	16.01	16.00		
26	% de vacíos del Agregado Mineral	%	17.39	17.35	17.37		17.37
27	C.A Efectivo / Peso de la Mezcla	%		6.17			
28	Relacion Betun Vacíos	%	92.03	92.24	92.14		92.14
29	Lectura del Anillo	pulg.					
30	Estabilidad Sin Corregir (Lectura)	kg	1690	1685	1645		
31	Factor de Estabilidad		0.96	0.96	0.96		
32	Estabilidad Corregida	kg	1622	1618	1579		1606.4
33	Lectura del Flexímetro ( 0.01" )	pulg.	16.5	16.0	17.0		
34	Fluencia	mm.	4.19	4.06	4.32		4.19
35	Factor de Rigidez	Kg/cm	3871	3980	3657		3836
<b>OBSERVACIONES :</b>		El cemento asfáltico empleado para la elaboración de los testigos de asalto es de tipo CAP PEN 60/70.					



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

# **DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE HUSO GRANULOMÉTRICO D5 ASTM D 3515**

**PROYECTO: TESIS: "INFLUENCIA DE LA  
INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO  
RECICLADO EN LOS PAVIMENTOS DE UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA LA  
CIUDAD DE CAJAMARCA"**

**ENSAYOS DE MÁXIMA DENSIDAD  
TEÓRICA**

**CON 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% Y 6.5%**

**DE CEMENTO ASFÁLTICO**

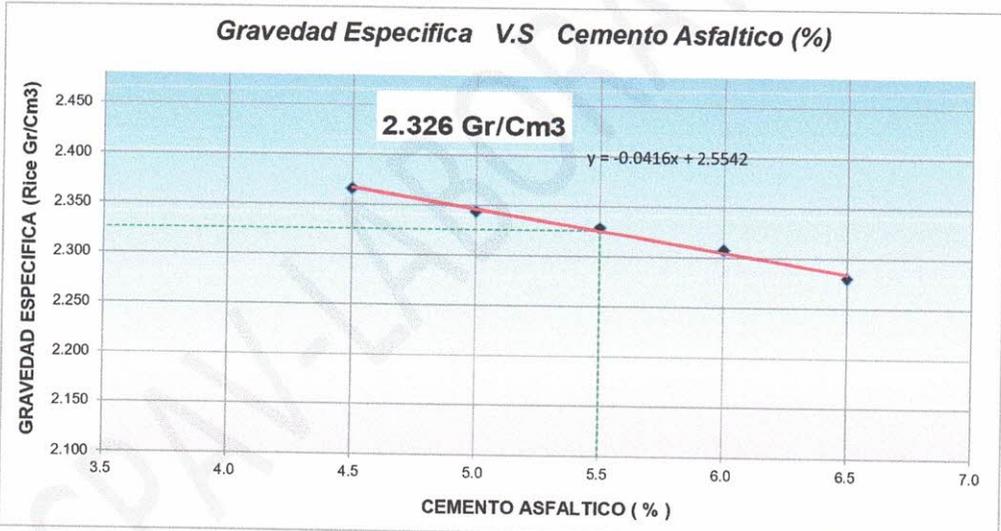
**SOLICITANTE: BACH. HÉCTOR ISAAC AYALA  
HOYOS**

**SETIEMBRE 2022**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS						
OBRA / PROYECTO	:	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"				
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca				
SOLICITANTE	:	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos				
MATERIAL	:	Mezcla Asfáltica en Caliente (Patrón)				
PROCEDENCIA	:	Cantera Bazán	PEN 60/70	FECHA:	13/09/2022	
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca				
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, ABSORCIÓN Y ASFALTO EFECTIVO (MTC E 508 / ASTM D 2041 / AASHTO T-209)						
1	Peso del frasco + el agua	7628.0	7628.0	7628.0	7628.0	7628.0
2	Peso de la mezcla	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0	1500.0
3	Peso del frasco + mezcla + agua	8494.0	8488.0	8484.0	8478.0	8470.0
4	Volumen de la mezcla. (1+2-3)	634.0	640.0	644.0	650.0	658.0
5	Gravedad específica de la mezcla.(2/4)	2.366	2.344	2.329	2.308	2.280
6	Porcentaje de Asfalto total en la mezcla	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5

**Gravedad Especifica V.S Cemento Asfáltico (%)**



**OBSERVACIONES:** El cemento asfáltico empleado para la elaboración de los testigos de asfalto es de tipo CAP PEN 60/70.



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

# **DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE HUSO GRANULOMÉTRICO D5 ASTM D 3515**

**PROYECTO: TESIS: "INFLUENCIA DE LA  
INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO  
RECICLADO EN LOS PAVIMENTOS DE UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA LA  
CIUDAD DE CAJAMARCA"**

**ENSAYOS DE INDICE DE  
COMPACTABILIDAD Y ESTABILIDAD  
RETENIDA**

**SOLICITANTE: BACH. HÉCTOR ISAAC AYALA  
HOYOS**

**SETIEMBRE 2022**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES																																																															
OBRA / PROYECTO :	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"																																																														
UBICACIÓN :	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca																																																														
SOLICITANTE :	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos																																																														
MATERIAL :	Combinación de agregados para Mezcla Asfáltica en Caliente																																																														
PROCEDENCIA :	Cantera Bazán																																																														
UBICACIÓN :	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca																																																														
Fecha : 14/09/2022																																																															
INDICE DE COMPACTIBILIDAD (NORMA ASTM D 1559 / AASHTO T 245)																																																															
Ensayo indice de compactibilidad																																																															
Descripción Mezcla Asfáltica																																																															
Agregados - Pétreos:																																																															
Grava Triturada	Cantera Bazán 30.0%																																																														
Arena Triturada	Cantera Bazán 70.0%																																																														
Bitumen - Aditivo :																																																															
Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico	(En peso del ligante asfáltico) 5.50 %																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Descripción</th> <th colspan="3">Grupo 01 *</th> <th colspan="3">Grupo 02*</th> </tr> <tr> <th>01</th> <th>02</th> <th>03</th> <th>04</th> <th>05</th> <th>06</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.- Peso briqueta al aire, g</td> <td>1,210.6</td> <td>1,212.4</td> <td>1,211.5</td> <td>1,208.3</td> <td>1,199.6</td> <td>1,204.0</td> </tr> <tr> <td>2.- Peso briqueta S.S. Saturada, g</td> <td>1,252.6</td> <td>1,258.6</td> <td>1,255.6</td> <td>1,242.1</td> <td>1,241.2</td> <td>1,241.7</td> </tr> <tr> <td>3.- Peso por desplazamiento, g</td> <td>698.9</td> <td>702.9</td> <td>700.9</td> <td>642.3</td> <td>645.7</td> <td>644.0</td> </tr> <tr> <td>4.- Volumen de la briqueta, cm<sup>3</sup></td> <td>553.7</td> <td>555.7</td> <td>554.7</td> <td>599.8</td> <td>595.5</td> <td>597.7</td> </tr> <tr> <td>5.- Peso Unitario GEB, g/cm<sup>3</sup></td> <td>2.186</td> <td>2.182</td> <td>2.184</td> <td>2.015</td> <td>2.014</td> <td>2.014</td> </tr> <tr> <td>6.- Peso Unitario GEBprom. g/cm<sup>3</sup></td> <td colspan="3">2.184</td> <td colspan="3">2.014</td> </tr> <tr> <td>Numero de Golpes</td> <td colspan="3">50</td> <td colspan="3">05</td> </tr> </tbody> </table>		Descripción	Grupo 01 *			Grupo 02*			01	02	03	04	05	06	1.- Peso briqueta al aire, g	1,210.6	1,212.4	1,211.5	1,208.3	1,199.6	1,204.0	2.- Peso briqueta S.S. Saturada, g	1,252.6	1,258.6	1,255.6	1,242.1	1,241.2	1,241.7	3.- Peso por desplazamiento, g	698.9	702.9	700.9	642.3	645.7	644.0	4.- Volumen de la briqueta, cm <sup>3</sup>	553.7	555.7	554.7	599.8	595.5	597.7	5.- Peso Unitario GEB, g/cm <sup>3</sup>	2.186	2.182	2.184	2.015	2.014	2.014	6.- Peso Unitario GEBprom. g/cm <sup>3</sup>	2.184			2.014			Numero de Golpes	50			05		
Descripción	Grupo 01 *			Grupo 02*																																																											
	01	02	03	04	05	06																																																									
1.- Peso briqueta al aire, g	1,210.6	1,212.4	1,211.5	1,208.3	1,199.6	1,204.0																																																									
2.- Peso briqueta S.S. Saturada, g	1,252.6	1,258.6	1,255.6	1,242.1	1,241.2	1,241.7																																																									
3.- Peso por desplazamiento, g	698.9	702.9	700.9	642.3	645.7	644.0																																																									
4.- Volumen de la briqueta, cm <sup>3</sup>	553.7	555.7	554.7	599.8	595.5	597.7																																																									
5.- Peso Unitario GEB, g/cm <sup>3</sup>	2.186	2.182	2.184	2.015	2.014	2.014																																																									
6.- Peso Unitario GEBprom. g/cm <sup>3</sup>	2.184			2.014																																																											
Numero de Golpes	50			05																																																											
<p><b>Calculos</b></p> <p>(*) Selecciona el grupo en relacion al numero de golpes</p> $\text{Indice Compactibilidad,} = \frac{1}{\text{GEB [ 50 ]} - \text{GEB [ 05 ]}}$ <p>Indice Compactibilidad, = 5.90</p>																																																															
OBSERVACIONES :	El cemento asfáltico empleado para la elaboración de los testigos de asfalto es de tipo CAP PEN 60/70.																																																														



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Grabiell Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES																																																																																																																												
OBRA / PROYECTO	:	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"																																																																																																																										
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca																																																																																																																										
SOLICITANTE	:	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos																																																																																																																										
MATERIAL	:	Mezcla Asfáltica en Caliente (Patrón)																																																																																																																										
PROCEDENCIA	:	Cantera Bazán	FECHA: 15/09/2022																																																																																																																									
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca																																																																																																																										
ESTABILIDAD RETENIDA (NORMA MTC E 518 / ASTM D 1075 / AASHTO T 165)																																																																																																																												
Ensayo Estabilidad Retenida																																																																																																																												
<b>Descripción Mezcla Asfáltica</b>																																																																																																																												
Agregados - Pétreos:						Proporción.																																																																																																																						
Grava Triturada		Cantera Bazán				30.0%																																																																																																																						
Arena Triturada		Cantera Bazán				70.0%																																																																																																																						
Bitumen - Aditivo :						Proporción.																																																																																																																						
Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico		(En peso del		(En peso del ligante asfáltico)		5.50 %																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Descripción</th> <th colspan="3">Grupo 01 *</th> <th colspan="3">Grupo 02*</th> </tr> <tr> <th>01</th> <th>02</th> <th>03</th> <th>04</th> <th>05</th> <th>06</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.- Altura promedio briqueta, cm.</td> <td>9.5</td> <td>9.5</td> <td>9.5</td> <td>9.5</td> <td>9.6</td> <td>9.6</td> </tr> <tr> <td>2.- Diametro promedio briqueta, cm.</td> <td>10.1</td> <td>10.0</td> <td>10.1</td> <td>10.0</td> <td>10.1</td> <td>10.0</td> </tr> <tr> <td>3.- Area promedio briqueta, cm².</td> <td>80.1</td> <td>78.5</td> <td>80.6</td> <td>78.5</td> <td>80.8</td> <td>78.5</td> </tr> <tr> <td>3.- Peso briqueta al aire, g</td> <td>1,212.3</td> <td>1,210.3</td> <td>1,205.8</td> <td>1,199.4</td> <td>1,208.7</td> <td>1,210.3</td> </tr> <tr> <td>4.- Peso briqueta S.S. Saturada, g</td> <td>1,214.8</td> <td>1,212.8</td> <td>1,206.3</td> <td>1,201.1</td> <td>1,209.9</td> <td>1,212.1</td> </tr> <tr> <td>5.- Peso por desplazamiento, g</td> <td>675.3</td> <td>672.9</td> <td>668.8</td> <td>665.8</td> <td>670.7</td> <td>673.9</td> </tr> <tr> <td>6.- Volumen de la briqueta, cm³</td> <td>539.5</td> <td>539.9</td> <td>537.5</td> <td>535.3</td> <td>539.2</td> <td>538.2</td> </tr> <tr> <td>7.- Peso Unitario, GEB g/cm³</td> <td>2.247</td> <td>2.242</td> <td>2.243</td> <td>2.241</td> <td>2.242</td> <td>2.249</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Inmersión, min</td> <td colspan="3">1440.0</td> <td colspan="3">240.0</td> </tr> <tr> <td>8.- Estabilidad sin corregir, kgf.</td> <td>1375.0</td> <td>1321.0</td> <td>1386.0</td> <td>1612.0</td> <td>1643.0</td> <td>1710.0</td> </tr> <tr> <td>9.- Factor Estabilidad</td> <td>0.93</td> <td>0.93</td> <td>0.93</td> <td>0.96</td> <td>0.93</td> <td>0.93</td> </tr> <tr> <td>10.- Estabilidad corregida, kgf.</td> <td>1278.8</td> <td>1228.5</td> <td>1289.0</td> <td>1547.5</td> <td>1528.0</td> <td>1590.3</td> </tr> <tr> <td>11.- Resistencia a la compresión, kgf/cm².</td> <td>17.2</td> <td>16.8</td> <td>17.2</td> <td>20.5</td> <td>20.3</td> <td>21.8</td> </tr> <tr> <td>12.- Resistencia a la compresión, Mpa.</td> <td>1.7</td> <td>1.6</td> <td>1.7</td> <td>2.0</td> <td>2.0</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>13.- Estabilidad Promedio, Mpa.</td> <td colspan="3">1.7</td> <td colspan="3">2.0</td> </tr> </tbody> </table>							Descripción	Grupo 01 *			Grupo 02*			01	02	03	04	05	06	1.- Altura promedio briqueta, cm.	9.5	9.5	9.5	9.5	9.6	9.6	2.- Diametro promedio briqueta, cm.	10.1	10.0	10.1	10.0	10.1	10.0	3.- Area promedio briqueta, cm².	80.1	78.5	80.6	78.5	80.8	78.5	3.- Peso briqueta al aire, g	1,212.3	1,210.3	1,205.8	1,199.4	1,208.7	1,210.3	4.- Peso briqueta S.S. Saturada, g	1,214.8	1,212.8	1,206.3	1,201.1	1,209.9	1,212.1	5.- Peso por desplazamiento, g	675.3	672.9	668.8	665.8	670.7	673.9	6.- Volumen de la briqueta, cm³	539.5	539.9	537.5	535.3	539.2	538.2	7.- Peso Unitario, GEB g/cm³	2.247	2.242	2.243	2.241	2.242	2.249	Tiempo de Inmersión, min	1440.0			240.0			8.- Estabilidad sin corregir, kgf.	1375.0	1321.0	1386.0	1612.0	1643.0	1710.0	9.- Factor Estabilidad	0.93	0.93	0.93	0.96	0.93	0.93	10.- Estabilidad corregida, kgf.	1278.8	1228.5	1289.0	1547.5	1528.0	1590.3	11.- Resistencia a la compresión, kgf/cm².	17.2	16.8	17.2	20.5	20.3	21.8	12.- Resistencia a la compresión, Mpa.	1.7	1.6	1.7	2.0	2.0	2.1	13.- Estabilidad Promedio, Mpa.	1.7			2.0		
Descripción	Grupo 01 *			Grupo 02*																																																																																																																								
	01	02	03	04	05	06																																																																																																																						
1.- Altura promedio briqueta, cm.	9.5	9.5	9.5	9.5	9.6	9.6																																																																																																																						
2.- Diametro promedio briqueta, cm.	10.1	10.0	10.1	10.0	10.1	10.0																																																																																																																						
3.- Area promedio briqueta, cm².	80.1	78.5	80.6	78.5	80.8	78.5																																																																																																																						
3.- Peso briqueta al aire, g	1,212.3	1,210.3	1,205.8	1,199.4	1,208.7	1,210.3																																																																																																																						
4.- Peso briqueta S.S. Saturada, g	1,214.8	1,212.8	1,206.3	1,201.1	1,209.9	1,212.1																																																																																																																						
5.- Peso por desplazamiento, g	675.3	672.9	668.8	665.8	670.7	673.9																																																																																																																						
6.- Volumen de la briqueta, cm³	539.5	539.9	537.5	535.3	539.2	538.2																																																																																																																						
7.- Peso Unitario, GEB g/cm³	2.247	2.242	2.243	2.241	2.242	2.249																																																																																																																						
Tiempo de Inmersión, min	1440.0			240.0																																																																																																																								
8.- Estabilidad sin corregir, kgf.	1375.0	1321.0	1386.0	1612.0	1643.0	1710.0																																																																																																																						
9.- Factor Estabilidad	0.93	0.93	0.93	0.96	0.93	0.93																																																																																																																						
10.- Estabilidad corregida, kgf.	1278.8	1228.5	1289.0	1547.5	1528.0	1590.3																																																																																																																						
11.- Resistencia a la compresión, kgf/cm².	17.2	16.8	17.2	20.5	20.3	21.8																																																																																																																						
12.- Resistencia a la compresión, Mpa.	1.7	1.6	1.7	2.0	2.0	2.1																																																																																																																						
13.- Estabilidad Promedio, Mpa.	1.7			2.0																																																																																																																								
<b>Nota:</b>																																																																																																																												
(*) Selecciona el grupo en relacion a la GEB proximas.																																																																																																																												
Grupo 01 : Inmersión por 24 horas a 60.0°C.																																																																																																																												
Grupo 02 : Inmersión por 04 horas a 25.0°C.																																																																																																																												
<b>Calculos</b>																																																																																																																												
Estabilidad Retenida, = $\frac{\text{Estabilidad Promedio a 1440 minutos} \times 100}{\text{Estabilidad Promedio a 240 minutos}}$																																																																																																																												
Estabilidad Retenida, = 83.5 %																																																																																																																												
<b>OBSERVACIONES :</b> El cemento asfáltico empleado para la elaboración de los testigos de asfalto es de tipo CAP PEN 60/70.																																																																																																																												



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Graniel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP.Nº 243518

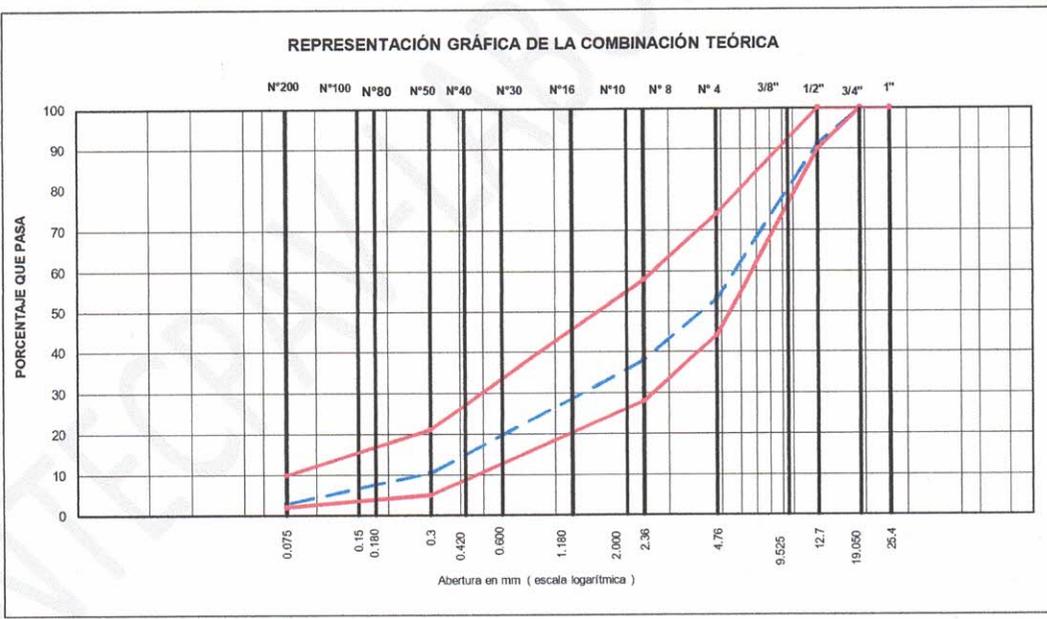
**Anexo I. Informe Técnico del diseño de mezcla asfáltica en caliente  
con la incorporación de polvo de caucho – control de calidad**

**DISEÑO MARSHALL**  
**ASTM D 1559 / AASHTO T 245**  
**COMBINACIÓN TEÓRICA DE DISEÑO**  
**PATRÓN CON AGREGADOS SIN POLVO**  
**DE CAUCHO**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS										
COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE										
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE- MAC- HUSO D5										
OBRA	:	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"					RESP. LAB.	:	D.C.N.	
SOLICITANTE	:	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos					ING° RESP.	:	D.C.N.	
MATERIAL	:	Combinación de Agregados Para Mezcla Asfáltica Convencional					FECHA	:	13/09/2022	
PROCEDENC.	:	Cantera Bazán								
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca								
TAMICEZ	Fajas por agregados a intervenir				Mezcla MAC - HUSO D5				Chequeo	
			Arena Triturada Cantera Bazán < 3/8"	Grava Triturada Cantera Bazán < 3/4" - 1/2"	Comb. Teórica	Especific. HUSO D5				
3/4"	19.050		100.0	100.0	100.0	100	100	ok		
1/2"	12.700		100.0	71.1	91.3	90	100	ok		
3/8"	9.525		100.0	2.5	70.8					
# 4	4.760		75.8	0.5	53.2	44	74	ok		
# 8	2.360		54.0	0.5	38.0	28	58	ok		
# 10	2.000									
# 16	1.180		38.7	0.5	27.2					
# 30	0.600		29.1	0.5	20.5					
# 40	0.420									
# 50	0.300		15.0	0.0	10.5	5	21	ok		
# 80	0.177									
# 100	0.150		5.6	0.0	3.9					
# 200	0.075		4.2	0.0	2.9	2	10	ok		

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA COMBINACIÓN TEÓRICA**



Observaciones: % de agregados definido con el TAMIZ N° 4

Grava:	46.8 %
Arena:	53.2 %
<b>Total de Agregados:</b>	<b>100.0 %</b>

ESPECIFICACIONES: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EG-2013 DEL MTC.  
CAPITULO 4: PAVIMENTOS - PAVIMENTOS FLEXIBLES (SECCIÓN 423:  
PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE) TABLA 423-03  
GRADACION PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Graciel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
C.P. N° 243518

**DISEÑO MARSHALL**  
**ASTM D 1559 / AASHTO T 245**  
**COMBINACIÓN TEÓRICA CON**  
**AGREGADOS DEL DISEÑO PATRÓN CON**  
**POLVO DE CAUCHO INCORPORANDO EL**  
**1.5%**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS									
COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE									
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE- MAC- HUSO D5									
OBRA	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"					RESP. LAB.	D.C.N.		
SOLICITANTE	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos					ING° RESP.	D.C.N.		
MATERIAL	Combinación de Agregados Para Mezcla Asfáltica Convencional con 1.5% de caucho					FECHA	13/09/2022		
PROCEDENC.	Cantera Bazán								
UBICACIÓN	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca								
TAMICEZ	Fajas por agregados a intervenir					Mezcla MAC - HUSO D5			Chequeo
		Poivo de Caucho Reciclado	Arena Triturada Cantera Bazán < 3/8"	Grava Triturada Cantera Bazán < 3/4" - 1/2"		Comb. Teórica	Especific. HUSO D5		
		1.5%	68.5%	30.0%					
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0		100.0	100	100	ok
1/2"	12.700	100.0	100.0	71.1		91.3	90	100	ok
3/8"	9.525	100.0	100.0	2.6		70.8			
# 4	4.760	100.0	75.8	0.5		53.6	44	74	ok
# 8	2.360	100.0	54.0	0.5		38.6	28	58	ok
# 10	2.000								
# 16	1.180	99.9	38.7	0.5		28.2			
# 30	0.600	74.0	29.1	0.5		21.2			
# 40	0.420								
# 50	0.300	37.4	15.0	0.0		10.8	5	21	ok
# 80	0.177								
# 100	0.150	16.3	5.6	0.0		4.1			
# 200	0.075	4.3	4.2	0.0		2.9	2	10	ok

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA COMBINACIÓN TEÓRICA**

Observaciones: % de agregados definido con el TAMIZ N° 4

Grava:	46.4 %
Arena:	53.6 %
<b>Total de Agregados:</b>	<b>100.0 %</b>

ESPECIFICACIONES: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EG-2013 DEL MTC. CAPITULO 4: PAVIMENTOS - PAVIMENTOS FLEXIBLES (SECCIÓN 423: PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE) TABLA 423-03 GRADACION PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Grabeil Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**DISEÑO MARSHALL**  
**ASTM D 1559 / AASHTO T 245**  
**COMBINACIÓN TEÓRICA CON**  
**AGREGADOS DEL DISEÑO PATRÓN CON**  
**POLVO DE CAUCHO INCORPORANDO EL**  
**3.0%**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS										
COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE										
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE- MAC- HUSO D5										
OBRA	:	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"					RESP. LAB.	:	D.C.N.	
SOLICITANTE	:	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos					ING° RESP.	:	D.C.N.	
MATERIAL	:	Combinación de Agregados Para Mezcla Asfáltica Convencional con 3.0% de caucho					FECHA	:	13/09/2022	
PROCEDEC.	:	Cantera Bazán								
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca								
TAMICEZ	Fajas por agregados a intervenir					Mezcla MAC - HUSO D5			Chequeo	
		Polvo de Caucho Reciclado	Arena Triturada Cantera Bazán < 3/8"	Grava Triturada Cantera Bazán < 3/4" - 1/2"		Comb. Teórica	Especific. HUSO D5			
		3.0%	67.0%	30.0%						
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0		100.0	100	100	ok	
1/2"	12.700	100.0	100.0	71.1		91.3	90	100	ok	
3/8"	9.525	100.0	100.0	2.6		70.8				
# 4	4.760	100.0	75.8	0.5		53.9	44	74	ok	
# 8	2.360	100.0	54.0	0.5		39.3	28	58	ok	
# 10	2.000									
# 16	1.180	99.9	38.7	0.5		29.1				
# 30	0.600	74.0	29.1	0.5		21.9				
# 40	0.420									
# 50	0.300	37.4	15.0	0.0		11.2	5	21	ok	
# 80	0.177									
# 100	0.150	16.3	5.6	0.0		4.2				
# 200	0.075	4.3	4.2	0.0		2.9	2	10	ok	

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA COMBINACIÓN TEÓRICA**

<p>Observaciones: % de agregados definido con el TAMIZ N° 4</p> <p style="margin-left: 40px;">Grava: 46.1 %</p> <p style="margin-left: 40px;">Arena: 53.9 %</p> <p style="margin-left: 40px;">Total de Agregados: 100.0 %</p>	<p>ESPECIFICACIONES: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EG-2013 DEL MTC. CAPITULO 4: PAVIMENTOS - PAVIMENTOS FLEXIBLES (SECCIÓN 423: PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE) TABLA 423-03 GRADACION PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE</p>
---	---



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Casallo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**DISEÑO MARSHALL**  
**ASTM D 1559 / AASHTO T 245**  
**COMBINACIÓN TEÓRICA CON**  
**AGREGADOS DEL DISEÑO PATRÓN CON**  
**POLVO DE CAUCHO INCORPORANDO EL**  
**5.0%**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS										
COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE										
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE- MAC- HUSO D5										
OBRA	:	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"					RESP. LAB.	:	D.C.N.	
SOLICITANTE	:	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos					ING° RESP.	:	D.C.N.	
MATERIAL	:	Combinación de Agregados Para Mezcla Asfáltica Convencional con 5.0% de caucho					FECHA	:	13/09/2022	
PROCEDENC.	:	Cantera Bazán								
UBICACIÓN	:	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca								
TAMICEZ	Fajas por agregados a intervenir				Mezcla MAC - HUSO D5			Chequeo		
		Polvo de Caucho Reciclado	Arena Triturada Cantera Bazán < 3/8"	Grava Triturada Cantera Bazán < 3/4" - 1/2"	Comb. Teórica	Especific. HUSO D5				
		5.0%	65.0%	30.0%						
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100	ok		
1/2"	12.700	100.0	100.0	71.1	91.3	90	100	ok		
3/8"		100.0	100.0	2.6	70.8					
# 4	4.760	100.0	75.8	0.5	54.4	44	74	ok		
# 8	2.360	100.0	54.0	0.5	40.3	28	58	ok		
# 10	2.000									
# 16	1.180	99.9	38.7	0.5	30.3					
# 30	0.600	74.0	29.1	0.5	22.8					
# 40	0.420									
# 50	0.300	37.4	15.0	0.0	11.6	5	21	ok		
# 80	0.177									
# 100	0.150	16.3	5.6	0.0	4.5					
# 200	0.075	4.3	4.2	0.0	2.9	2	10	ok		

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA COMBINACIÓN TEÓRICA**

**Observaciones:** % de agregados definido con el TAMIZ N° 4

Grava:	45.6 %
Arena:	54.4 %
Total de Agregados:	100.0 %

**ESPECIFICACIONES:** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EG-2013 DEL MTC. CAPITULO 4:PAVIMENTOS - PAVIMENTOS FLEXIBLES (SECCIÓN 423: PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE) TABLA 423-03 GRADACION PARA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**DISEÑO MARSHALL**

**RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL**

**ASTM D 1559 / AASHTO T 245**

**CON AGREGADOS DEL DISEÑO PATRÓN**

**Y CON POLVO DE CAUCHO**

**INCORPORADO AL 1.5%, 3.0% Y 5.0%**



ENSAYO MARSHALL													
NORMA ASTM D 1559 / AASHTO T 245													
LABOTARIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES													
PROYECTO Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"													
SOLICITANTE Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos											RESP. LAB. : D.C.N.		
MATERIAL Combinación de Agregados con 1.5%, 3% y 5% de CAUCHO											ING° RESP. : D.C.N.		
CANTERA Cantera Bazán											FECHA : 14/09/2022		
UBICACIÓN Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca													
Ensayo Marshall													
DESCRIPCIÓN													
-- % DE CAUCHO		1.5			3.0			5.0			COMPROBACIÓN DISEÑO PATRÓN		
-- % CEMENTO ASFÁLTICO ADICIONADO SEGÚN DISEÑO PATRÓN		5.5			5.5			5.5			5.5		
-- N° DE BRIQUETAS		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 % CEMENTO ASFÁLTICO OBTENIDO EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL		5.5			5.5			5.5			5.5		
2 % AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		43.9			43.5			43.1			44.2		
3 % AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		50.6			51.0			51.4			50.3		
4 % FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		0.0			0.0			0.0			0.0		
5 PESO ESPECÍFICO CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE, g/cm³		1.0272			1.0272			1.0272			1.0272		
6 PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO-BULK (< 1"), g/cm³		2.524			2.524			2.524			2.524		
7 PESO ESPECÍFICO AGREGADO FINO - BULK, g/cm³		2.563			2.563			2.563			2.563		
8 PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE, g/cm³		0.000			0.000			0.000			0.000		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA, cm.		6.7	6.9	6.6	6.6	6.8	6.5	6.7	6.6	6.9	6.7	6.6	6.8
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE, g.		1,199.8	1,201.8	1,190.6	1,203.9	1,194.6	1,201.8	1,194.1	1,189.3	1,196.3	1,194.8	1,190.8	1,200.5
11 PESO DE LA BRIQUETA SATURADA EN EL AIRE, g.		1,201.1	1,202.3	1,191.9	1,207.9	1,197.3	1,203.2	1,195.8	1,191.0	1,198.1	1,195.1	1,191.2	1,201.2
12 PESO DE LA BRIQUETA SATURADA EN EL AGUA, g.		662.8	664.1	659.1	657.5	651.1	652.8	634.8	633.5	634.8	663.2	661.3	665.9
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA, cm³		538.3	538.2	532.8	550.4	546.2	550.4	561.0	557.5	563.3	531.9	529.9	535.3
14 PESO DE LA PARAFINA, g.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15 VOLUMEN PARAFINA, cm³		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA, cm³		538.3	538.2	532.8	550.4	546.2	550.4	561.0	557.5	563.3	531.9	529.9	535.3
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA, g/cm³		2.229	2.233	2.235	2.187	2.187	2.184	2.129	2.133	2.124	2.246	2.247	2.243
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041, g/cm³		2.340			2.435			2.479			2.329		
19 PORCENTAJE DE VACÍOS AIRE, %		4.7	4.6	4.5	10.2	10.2	10.3	14.1	14.0	14.3	3.6	3.5	3.7
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL, g/cm³		2.545			2.545			2.545			2.545		
21 VOLUMEN MINERAL AGREGADO, %		17.2	17.1	17.0	18.8	18.8	18.9	20.9	20.8	21.1	16.6	16.6	16.7
22 VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO, %		72.5	73.3	73.6	45.8	45.8	45.4	32.4	32.8	32.1	78.5	78.7	77.8
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO AGREGADO TOTAL, g/cm³		2.545			2.545			2.545			2.545		
24 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO, %		5.50			5.50			5.50			5.51		
25 FLUJO (0.01 Pulgada)		14.0	14.2	14.6	16.0	16.0	16.0	20.0	18.0	20.0	14.0	14.0	14.0
26 FLUJO (0.25 milímetros)		3.6	3.6	3.7	4.1	4.1	4.1	5.1	4.6	5.1	3.6	3.6	3.6
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR, Lecturas.		310.0	320.0	315.0	380.0	360.0	350.0	300.0	280.0	320.0	290.0	300.0	285.0
28 FACTOR DE ESTABILIDAD		0.93	0.93	0.96	0.89	0.93	0.89	0.86	0.89	0.86	0.96	0.96	0.96
29 ESTABILIDAD CORREGIDA, kN.		13.7	14.1	14.3	15.9	15.8	14.7	12.3	11.9	13.0	13.3	13.7	13.0
30 RELACION ESTABILIDAD/FLUJO (Kg/cm)		3,922.0	3,984.0	3,941.0	3,985.0	3,955.0	3,684.0	2,461.0	2,652.0	2,616.0	3,801.0	3,925.0	3,740.0
Nota : Los testigos para el ensayo Marshall fueron elaborados con el óptimo contenido de cemento asfáltico 5.5% y a la combinación de agregados se le hizo el reajuste para adicionar porcentajes de CAUCHO de 1.5%, 3% y 5% como componente de la MAC.													



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Grabeil Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**DISEÑO MARSHALL**  
**RESULTADOS DEL CARACTERIZACIÓN**  
**MEZCLA ASFÁLTICA MARSHALL**  
**ASTM D 1559 / AASHTO T 245**  
**CON AGREGADOS DEL DISEÑO PATRÓN**  
**SIN POLVO DE CAUCHO**

CARACTERIZACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA MARSHALL																																											
NORMA ASTM D 1559 / AASHTO T 245																																											
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES																																											
<b>PROYECTO</b>	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"																																										
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos																																										
<b>MATERIAL</b>	Combinación de agregados para Mezcla Asfáltica en Caliente																																										
<b>CANERA</b>	Cantera Bazán																																										
	<b>RESP. LAB.:</b> D.C.N. <b>ING° RESP.:</b> D.C.N. <b>FECHA:</b> 14/09/2022																																										
<b>Caracterización mezcla asfáltica</b>																																											
<b>Descripción Mezcla Asfáltica</b>																																											
Agregados - Pétreos:	Proporción.																																										
Grava Triturada	Diseño Patrón																																										
Arena Triturada	30.0 %																																										
	70.0 %																																										
<b>Bitumen - Aditivo :</b>																																											
Contenido de Cemento Asfáltico CAP PEN 60 - 70 [en peso de la mezcla asfáltica total]	Proporción.																																										
	5.5 %																																										
RESULTADOS MARSHALL PROMEDIO																																											
<b>Caracterización de la Mezcla Asfáltica Convencional sin caucho - Diseño Patrón</b>																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Número de Golpes</th> <th>75</th> <th>Espec.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Contenido Óptimo Cemento Asfáltico, %</td> <td>5.5</td> <td>±0.2</td> </tr> <tr> <td>Peso Específico, g/cm<sup>3</sup></td> <td>2.240</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estabilidad, kN.</td> <td>15.76</td> <td>8.14 Min.</td> </tr> <tr> <td>Estabilidad, kgf</td> <td>1607.4</td> <td>830 Min.</td> </tr> <tr> <td>Flujo, (0.01 pulg.)</td> <td>14.7</td> <td>8 - 14 (0.01 pulg.)</td> </tr> <tr> <td>Vacios de aire, %</td> <td>4.0</td> <td>3% - 5 %</td> </tr> <tr> <td>V.M.A, %</td> <td>16.9</td> <td>14 Min.</td> </tr> <tr> <td>V.LL.CA., %</td> <td>76.7</td> <td>65 - 78</td> </tr> <tr> <td>Estabilidad / Flujo (Kg/cm)</td> <td>3,818.5</td> <td>1700 - 4000 (kg/cm)</td> </tr> <tr> <td>Temperatura máxima mezcla, °C</td> <td>152</td> <td>149 - 154 °C (*)</td> </tr> <tr> <td>Relación Polvo <sub>0.075</sub>/Asfalto Efectivo</td> <td>1.2</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Recubrimiento, %</td> <td>100.0</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Desprendimiento, % retenido</td> <td>+ 95.0</td> <td>+ 95.0</td> </tr> </tbody> </table>	Número de Golpes	75	Espec.	Contenido Óptimo Cemento Asfáltico, %	5.5	±0.2	Peso Específico, g/cm <sup>3</sup>	2.240		Estabilidad, kN.	15.76	8.14 Min.	Estabilidad, kgf	1607.4	830 Min.	Flujo, (0.01 pulg.)	14.7	8 - 14 (0.01 pulg.)	Vacios de aire, %	4.0	3% - 5 %	V.M.A, %	16.9	14 Min.	V.LL.CA., %	76.7	65 - 78	Estabilidad / Flujo (Kg/cm)	3,818.5	1700 - 4000 (kg/cm)	Temperatura máxima mezcla, °C	152	149 - 154 °C (*)	Relación Polvo <sub>0.075</sub> /Asfalto Efectivo	1.2	0.5	Recubrimiento, %	100.0	100%	Desprendimiento, % retenido	+ 95.0	+ 95.0	
Número de Golpes	75	Espec.																																									
Contenido Óptimo Cemento Asfáltico, %	5.5	±0.2																																									
Peso Específico, g/cm <sup>3</sup>	2.240																																										
Estabilidad, kN.	15.76	8.14 Min.																																									
Estabilidad, kgf	1607.4	830 Min.																																									
Flujo, (0.01 pulg.)	14.7	8 - 14 (0.01 pulg.)																																									
Vacios de aire, %	4.0	3% - 5 %																																									
V.M.A, %	16.9	14 Min.																																									
V.LL.CA., %	76.7	65 - 78																																									
Estabilidad / Flujo (Kg/cm)	3,818.5	1700 - 4000 (kg/cm)																																									
Temperatura máxima mezcla, °C	152	149 - 154 °C (*)																																									
Relación Polvo <sub>0.075</sub> /Asfalto Efectivo	1.2	0.5																																									
Recubrimiento, %	100.0	100%																																									
Desprendimiento, % retenido	+ 95.0	+ 95.0																																									
Temperatura de Aplicación, del CAP PEN 60/70 °C (Según carta de viscosidad LOTE No. 60/70-006-06-2022)																																											
Agregados - Pétreos	150.0																																										
Bitumen - CAP PEN 60/70 - Mezclado	152.0																																										
<i>Nota. Los resultados mostrados corresponden a los obtenidos en el diseño Marshall Patrón.</i>																																											



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Grabeil Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**DISEÑO MARSHALL**  
**RESULTADOS DEL CARACTERIZACIÓN**  
**MEZCLA ASFÁLTICA MARSHALL**  
**ASTM D 1559 / AASHTO T 245**  
**CON AGREGADOS DEL DISEÑO PATRÓN**  
**Y CON POLVO DE CAUCHO**  
**INCORPORADO AL 1.5%, 3.0% Y 5.0%**



CARACTERIZACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA MARSHALL					
NORMA ASTM D 1559 / AASHTO T 245					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES					
<b>PROYECTO</b>	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"				
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos				<b>RESP. LAB.:</b> D.C.N.
<b>CANTERA</b>	Combinación de Agregados con 1.5%, 3% y 5% de CAUCHO				<b>ING° RESP.:</b> D.C.N.
<b>MATERIAL</b>	Cantera Bazán				<b>FECHA:</b> 14/09/2022
<b>UBICACIÓN</b>	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca				
Caracterización mezcla asfáltica					
RESULTADOS MARSHALL PROMEDIO					
Caracterización Mezcla Asfáltica con 1.5%, 3% y 5% de CAUCHO					
	75				
Número de Golpes					
% De RAP	1.5	3.0	5.0	COMPROBACIÓN DISEÑO PATRÓN	Espec.
Contenido de Cemento Asfáltico Obtenido, %	5.5	5.5	5.5	5.5	±0.2
Peso Especifico, g/cm <sup>3</sup>	2.232	2.186	2.129	2.245	
Estabilidad, kN.	14.0	15.4	12.4	13.3	8.14 Min.
Estabilidad, kgf	1522.4	1743.4	1453.8	1415.7	830 Min.
Flujo, (0.01pulg.)	14.3	16.0	19.3	14.0	8 - 14 (0.01 pulg.)
Vacios de aire, %	4.6	10.2	14.1	3.6	3% - 5%
V.M.A, %	17.1	18.8	20.9	16.6	14 Min.
V.LL.CA., %	73.2	45.7	32.4	78.4	-
Estabilidad / Flujo (Kg/cm)	3,949.0	3,874.7	2,576.3	3,822.0	1700 - 4000 (kg/cm)
Temperatura máxima mezcla, °C	175	175	175	150	149 - 154 °C (Diseño Patrón) 170 - 180 °C (Diseño Mezcla Con Caucho)
Relación Polvo <sub>0.074</sub> /Asfalto Efectivo	0.5	0.5	0.5	0.5	1.3
Recubrimiento, %	100.0	100.0	100.0	100.0	100%
Desprendimiento, % retenido	+ 95.0	+ 95.0	+ 95.0	+ 95.0	+ 95.0
Temperatura de Aplicación, del CAP PEN 60/70 °C					
Agregados - Pétreos - CAUCHO					170 °C
Tiempo y temperatura de digestión					2 horas / 175 °C
Bitumen - CAP PEN 60/70					154 °C
<b>Nota.</b>	Los testigos para el ensayo Marshall fueron elaborados con el óptimo contenido de cemento asfáltico 5.5% y a la combinación de agregados se le hizo el reajuste para adicionar porcentajes de CAUCHO de 1.5%, 3% y 5% como componente de la MAC.				



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Grabeil Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

## **DISEÑO MARSHALL**

### **RESULTADOS DEL ENSAYO PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (RICE)**

**ASTM D 2041/ AASHTO T 245**

**CON AGREGADOS DEL DISEÑO PATRÓN  
Y CON POLVO DE CAUCHO  
INCORPORADO AL 1.5%, 3.0% Y 5.0%**



PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS					
ASTM D 2041/ AASHTO T 245 / ASTM D 1560					
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES					
<b>PROYECTO</b>	Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"				
<b>SOLICITANTE</b>	Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos			<b>RESP. LAB.:</b> D.C.N.	
<b>MATERIAL</b>	Combinación de Agregados con 1.5%, 3% y 5% de CAUCHO			<b>ING° RESP.:</b> D.C.N.	
<b>CANERA</b>	Cantera Bazán			<b>FECHA:</b> 14/09/2022	
<b>UBICACIÓN</b>	Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca, Distrito de Cajamarca				
<b>Ensayo Rice</b>	<b>Descripción Mezcla Asfáltica</b>				
	<b>Resultados</b>				
	<b>% De Caucho</b>	<b>1.5%</b>	<b>3.0%</b>	<b>5.0%</b>	<b>MAC-PATRÓN</b>
	Contenido Cemento Asfático, %	5.5	5.5	5.5	5.5
	1.- Peso del material, g	1,500.0	1,500.0	1,500.0	1,500.0
	2.- Peso agua + frasco, g	7,628.0	7,628.0	7,628.0	7,628.0
	3.- Peso agua + frasco + material [ 1 + 2 ], g	9,128.0	9,128.0	9,128.0	9,128.0
	4.- Peso agua + frasco + material (ensayo), g	<b>8,486.9</b>	<b>8,512.0</b>	<b>8,523.0</b>	<b>8,484.0</b>
	5.- Volumen [ 3 - 4 ], g	641.1	616.0	605.0	644.0
	Peso Especifico Máximo MAC, g/cm <sup>3</sup>	<b>2.340</b>	<b>2.435</b>	<b>2.479</b>	<b>2.329</b>
<p><b>Nota.</b> Las muestras para el ensayo RICE fueron elaborados con el óptimo contenido de cemento asfáltico 5.5% y a la combinación de agregados se le hizo el reajuste para adicionar porcentajes de CAUCHO de 1.5%, 3% y 5% como componente de la MAC.</p>					



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

## **Anexo J. Informe Técnico del ensayo Cántabro**

# RESULTADOS DEL ENSAYO CÁNTABRO

## MTC E-515 / NLT 352

**ENSAYO CÁNTABRO**  
**MTC E-515 / NLT 352**  
**CON AGREGADOS DEL DISEÑO PATRÓN**  
**SIN POLVO DE CAUCHO**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

**ENSAYO CÁNTABRO**

MTC E-515 / NLT 352

OBRA / PROYECTO : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"

N° INFORME :

SOLICITANTE : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos

RESP. LAB. : D.C.N.

MATERIAL : Mezcla Asfáltica en Caliente Convencional

ING° RESP. : D.C.N.

FECHA : 15/11/2022

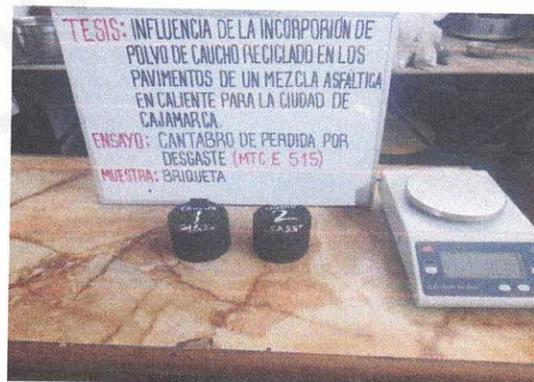
RESULTADOS DEL ENSAYO CÁNTABRO

DATOS DE PESO UNITARIO DE LOS TESTIGOS DE ASFALTO (MTC E 505)

ITEM	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA PATRÓN					PROMEDIO
	DATOS DE LAS BRIQUETAS	N°	1	2		
1	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	g	1203.6	1211.3		
2	PESO DE LA BRIQUETA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (gr)	g	1204.8	1212.8		
3	PESO DE LA BRIQUETA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (gr)	g	668.6	674.2		
4	VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO	cm <sup>3</sup>	536	539		
5	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	g/cm <sup>3</sup>	2.245	2.249		2.247
6	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041	g/cm <sup>3</sup>	2.329	2.329		2.329
7	VACÍOS	%	3.62	3.44		3.53

DATOS DEL ENSAYO CÁNTABRO

1	PESO INICIAL ANTES DEL ENSAYO	g	1204.8	1212.8		
2	PESO FINAL DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1105.2	1117.8		
3	% DE DESGASTE	%	8.27	7.83		8.05
RESULTADO DEL ENSAYO CÁNTABRO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PATRÓN (% DE DESGASTE PROMEDIO)		%	8.05			



OBSERVACIONES:

Los resultados obtenidos son solo válidos para este proyecto.



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Graciel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
C.P. N° 243518

**ENSAYO CÁNTABRO**  
**MTC E-515 / NLT 352**  
**CON AGREGADOS DEL DISEÑO PATRÓN**  
**CON POLVO DE CAUCHO**  
**INCORPORANDO EL 1.5%**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

**ENSAYO CÁNTABRO**

MTC E-515 / NLT 352

PROYECTO : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"

N° INFORME :

SOLICITANTE : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos

RESP. LAB. : D.C.N.

MATERIAL : Mezcla Asfáltica en Caliente con 1.5 % de Caucho

ING° RESP. : D.C.N.

FECHA : 15/11/2022

RESULTADOS DEL ENSAYO CÁNTABRO

DATOS DE PESO UNITARIO DE LOS TESTIGOS DE ASFALTO (MTC E 505)

ITEM	PORCENTAJES DE CEMENTO ASFÁLTICO Y CAUCHO	N°	C.A. 5.5% / CAUCHO 1.5%		PROMEDIO
			1	2	
1	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	g	1216.3	1226.9	
2	PESO DE LA BRIQUETA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (gr)	g	1218.5	1228.3	
3	PESO DE LA BRIQUETA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (gr)	g	674.2	680.2	
4	VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO	cm <sup>3</sup>	544	548	
5	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	g/cm <sup>3</sup>	2.235	2.238	2.237
6	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041	g/cm <sup>3</sup>	2.340	2.340	2.340
7	VACÍOS	%	4.50	4.34	4.42

DATOS DEL ENSAYO CÁNTABRO

1	PESO INICIAL ANTES DEL ENSAYO	g	1218.5	1228.3	
2	PESO FINAL DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1091.8	1102.6	
3	% DE DESGASTE	%	10.40	10.23	10.32
RESULTADO DEL ENSAYO CÁNTABRO CON C.A. 5.5% +1.5% DE CAUCHO (% DE DESGASTE PROMEDIO)			%	10.32	



OBSERVACIONES:

Los resultados obtenidos son solo válidos para este proyecto.



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**ENSAYO CÁNTABRO**  
**MTC E-515 / NLT 352**  
**CON AGREGADOS DEL DISEÑO PATRÓN**  
**CON POLVO DE CAUCHO**  
**INCORPORANDO EL 3.0%**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS						
<b>ENSAYO CÁNTABRO</b>						
MTC E-515 / NLT 352						
PROYECTO :		Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca"			N° INFORME :	
SOLICITANTE :		Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos			RESP. LAB. : D.C.N.	
MATERIAL :		Mezcla Asfáltica en Caliente con 3.0% de caucho			ING° RESP. : D.C.N.	
					FECHA : 15/11/2022	
RESULTADOS DEL ENSAYO CÁNTABRO						
DATOS DE PESO UNITARIO DE LOS TESTIGOS DE ASFALTO (MTC E 505)						
ITEM	PORCENTAJES DE CEMENTO ASFÁLTICO Y CAUCHO		C.A. 5.5% / CAUCHO 3.0%		PROMEDIO	
	DATOS DE LAS BRIQUETAS		Nº	1		2
1	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE		g	1204.2	1199.8	
2	PESO DE LA BRIQUETA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (gr)		g	1208.4	1204.3	
3	PESO DE LA BRIQUETA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (gr)		g	658.1	654.2	
4	VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO		cm <sup>3</sup>	550	550	
5	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA		g/cm <sup>3</sup>	2.188	2.181	2.185
6	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		g/cm <sup>3</sup>	2.435	2.435	2.435
7	VACÍOS		%	10.13	10.43	10.28
DATOS DEL ENSAYO CÁNTABRO						
1	PESO INICIAL ANTES DEL ENSAYO		g	1208.4	1204.3	
2	PESO FINAL DESPUÉS DEL ENSAYO		g	1047.9	1040.7	
3	% DE DESGASTE		%	13.28	13.58	13.43
RESULTADO DEL ENSAYO CÁNTABRO CON 30% DE RAP (% DE DESGASTE PROMEDIO)			%	13.43		

**OBSERVACIONES:**  
Los resultados obtenidos son solo válidos para este proyecto.



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
C.I.P. N° 243518

**ENSAYO CÁNTABRO**  
**MTC E-515 / NLT 352**  
**CON AGREGADOS DEL DISEÑO PATRÓN**  
**CON POLVO DE CAUCHO**  
**INCORPORANDO EL 5.0%**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS**

**ENSAYO CÁNTABRO**

MTC E-515 / NLT 352

PROYECTO : Tesis: "Influencia de la incorporación de polvo de caucho reciclado en los pavimentos de una mezcla asfáltica en caliente para la ciudad de Cajamarca" **N° INFORME :**  
SOLICITANTE : Bach. Héctor Isaac Ayala Hoyos **RESP. LAB. :** D.C.N.  
MATERIAL : Mezcla Asfáltica en Caliente con 5.0% de RAP **ING° RESP. :** D.C.N.  
**FECHA :** 15/11/2022

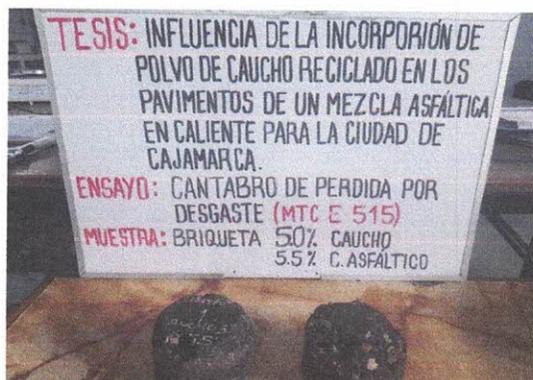
**RESULTADOS DEL ENSAYO CÁNTABRO**

**DATOS DE PESO UNITARIO DE LOS TESTIGOS DE ASFALTO (MTC E 505)**

ITEM	PORCENTAJES DE CEMENTO ASFÁLTICO Y CAUCHO	Nº	C.A. 5.5% / CAUCHO 5.0%		PROMEDIO
			1	2	
1	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	g	1208.6	1204.6	
2	PESO DE LA BRIQUETA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (gr)	g	1212.0	1209.7	
3	PESO DE LA BRIQUETA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (gr)	g	645.2	643.6	
4	VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPAZAMIENTO	cm <sup>3</sup>	567	566	
5	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	g/cm <sup>3</sup>	2.132	2.128	2.130
6	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041	g/cm <sup>3</sup>	2.479	2.479	2.479
7	VACÍOS	%	13.98	14.16	14.07

**DATOS DEL ENSAYO CÁNTABRO**

1	PESO INICIAL ANTES DEL ENSAYO	g	1212.0	1209.7	
2	PESO FINAL DESPUÉS DEL ENSAYO	g	1030.2	1018.0	
3	% DE DESGASTE	%	15.00	15.85	15.42
<b>RESULTADO DEL ENSAYO CÁNTABRO CON 40% DE RAP (% DE DESGASTE PROMEDIO)</b>		%	15.42		



**OBSERVACIONES:**

Los resultados obtenidos son solo válidos para este proyecto.



INVERSIONES & TECNOLOGÍA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

**Anexo K. Fichas Técnicas de materiales y Certificados de calibración  
del equipamiento**



REPORTE DE ANÁLISIS DE CEMENTO ASFÁLTICO 60/70

LOTE No. 60/70-006-06-2022

<b>REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.A</b> Carretera a Ventanilla km 25 S/N Ventanilla	<b>RECEPCIÓN DE LA MUESTRA</b> 19/06/2022 09:25:18	<b>FECHA DE CERTIFICACIÓN</b> 20/06/2022 04:47:59
<b>PRODUCTO</b> Cemento Asfáltico 60/70	<b>TANQUE</b> 333A	<b>DESTINO DE PRODUCTO</b> Operaciones de Despacho
<b>PROCEDENCIA</b> Almacenamiento	<b>VOLUMEN CERTIFICADO, m³</b> 2017	<b>BUQUE TANQUE</b>
<b>PROPIEDADES</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>RESULTADO</b>
	<b>ASTM / OTROS</b>	
<b>PENETRACIÓN</b>		
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, 1/10 mm	D 5 / AASHTO T 49	66
<b>DUCTILIDAD</b>		
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm	D 113 / AASHTO T 51	> 150
<b>VOLATILIDAD</b>		
Gravedad Específica a 15.6 °C/15.6°C	D 70 / AASHTO T 228	1.0303
Punto de Inflamación, °C	D 92 / AASHTO T 48	325.0
Gravedad API, °API	D 70 / AASHTO T 228	5.8
<b>FLUIDEZ</b>		
Punto de Ablandamiento, °C	D 36	47.7
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	D 445	3617
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	D 2170 / AASHTO T 201	393
<b>ENSAYOS DE PELÍCULA FINA</b>		
Pérdida por Calentamiento, % m	D 1754 / AASHTO T 179	0.03
Penetración retenida, 100g, 5s, 1/10 mm, % del original	D 5 / AASHTO T 49	66.7
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113 / AASHTO T 51	> 150
<b>SOLUBILIDAD</b>		
Solubilidad en tricloroetileno, % m	D 2042 / AASHTO T 44	99.97
<b>OTROS</b>		
Índice de Penetración	UNE-EN 12591	-1.15
Ensayo de la Mancha (Nafta-Xileno)	AASHTO T102	20% xileno, negativo
<b>OBSERVACIONES:</b> PRODUCTO CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES ASTM D946, AASHTO M 20-70 Y NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 321.051		
<b>DISTRIBUCIÓN</b> - Operaciones de Despacho - TyT - Laboratorio	<b>FECHA DE EMISIÓN</b> 20/06/2022	<b>LABORATORIO</b>  Pedro Ramos M. Gerente de Laboratorio



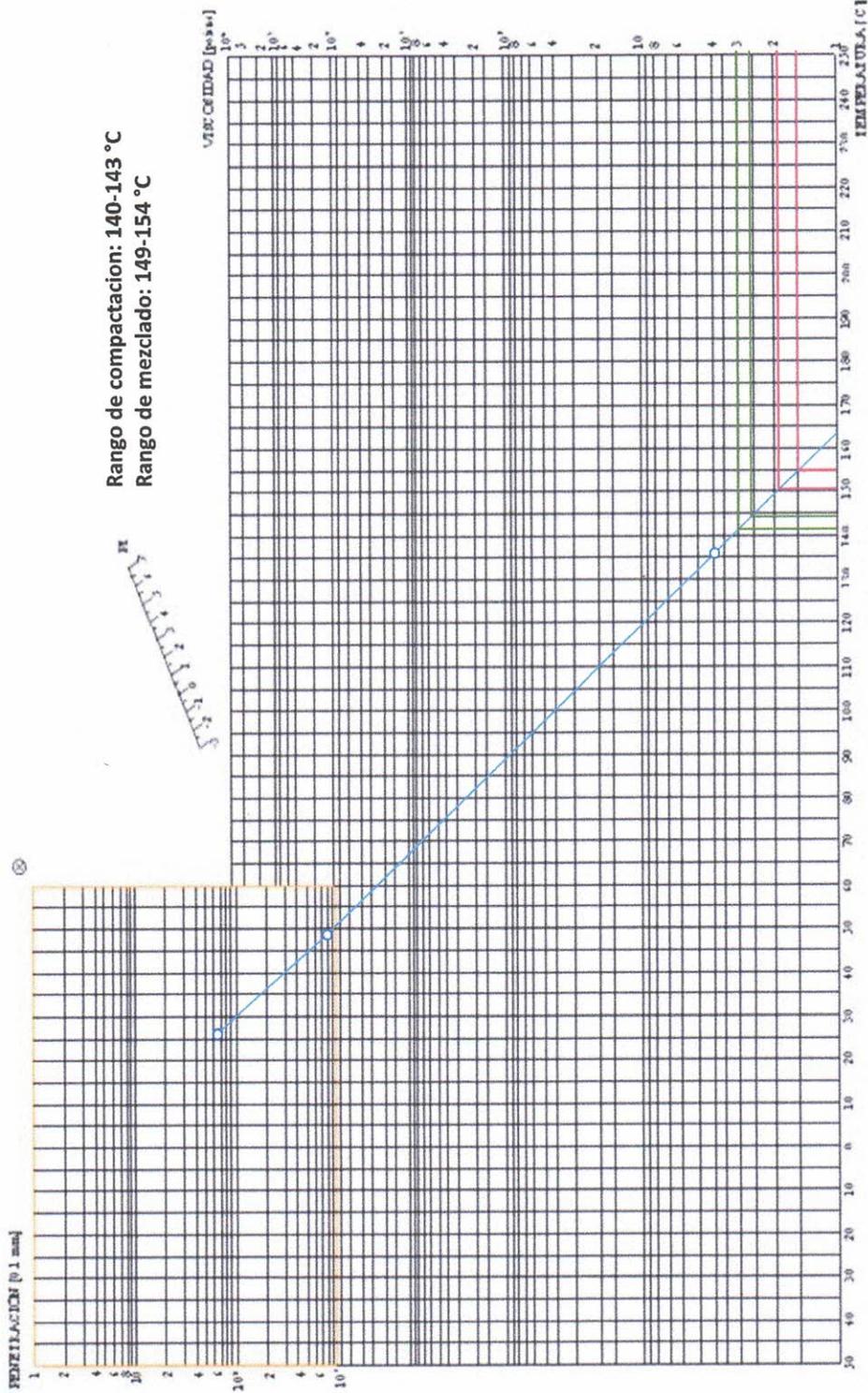
INVERSIONES Y TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL



Cemento Asfáltico 60/70  
60/70-006-06-2022



INVERSIONES Y TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.S.

Darwin Grabeiri Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
C.I.P. N° 243618

Pedro Ramos M.  
Gerente de Laboratorio

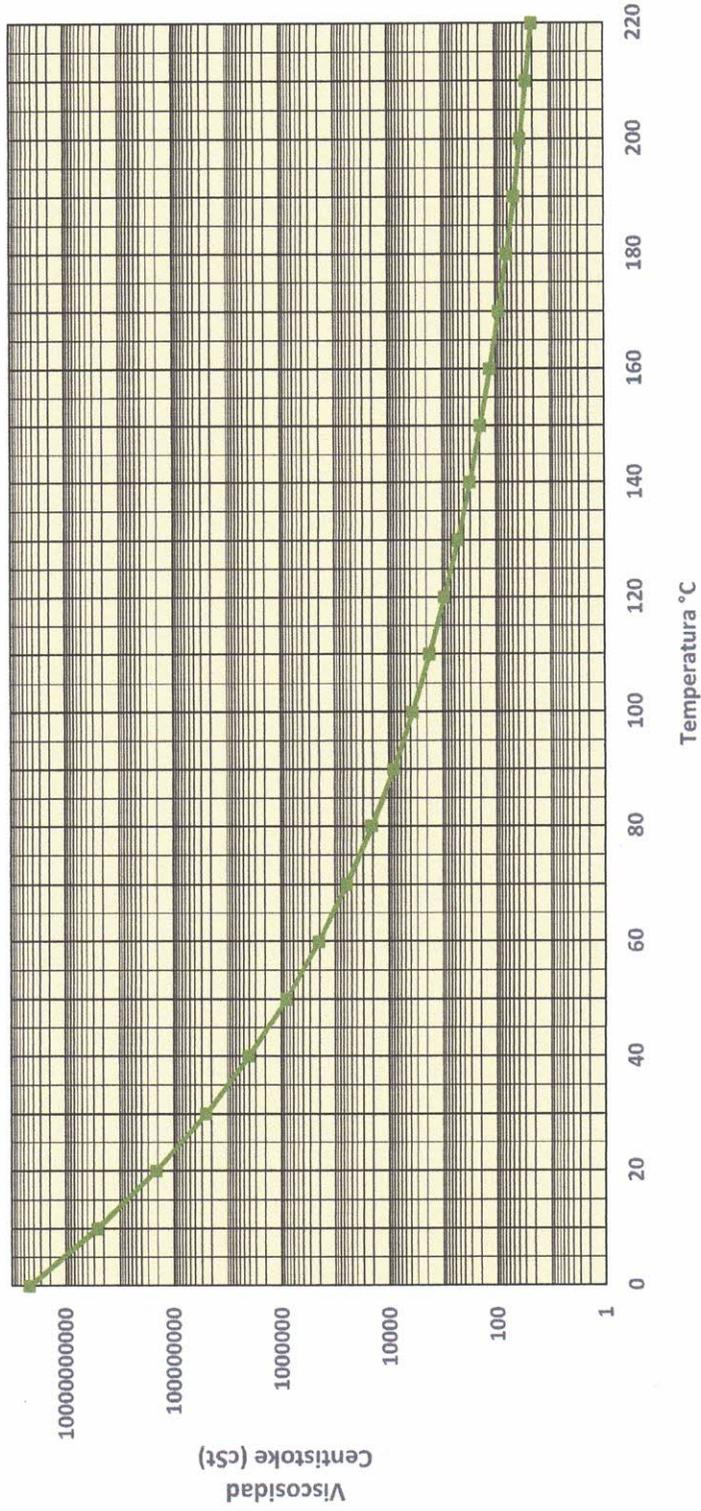




**REPSOL**

Cemento Asfáltico 60/70

60/70-006-06-2022



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.S.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

Pedro Ramos M.  
Gerente de Laboratorio

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 086 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

1. Expediente	0599-2022
2. Solicitante	INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.
3. Dirección	Jr. Felipe Cohaila Rivera Nro. 818 - San Martín de Porres - Lima
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA
Capacidad Máxima	30000 g
División de escala (d)	1 g
Div. de verificación (e)	1 g
Clase de exactitud	III
Marca	OHAUS
Modelo	R21PE30ZH
Número de Serie	8342167601
Capacidad mínima	20 g
Procedencia	CHINA
Identificación	NO INDICA
5. Fecha de Calibración	2022-03-01

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.



Fecha de Emisión

2022-03-01

INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Grabel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

Jefe del Laboratorio de Metrología

MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

Sello



Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 086 - 2022

### 6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase IIII" del SNM- INACAL

### 7. Lugar de calibración

En el laboratorio de Masa de CALIBRATEC S.A.C.  
Avenida Chillón lote 50 B - Comas - Lima

### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	20.6 ° C	20.6 ° C
Humedad Relativa	66%	66%

### 9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
METROIL	PESAS DE 1-2-2-5 kg (Clase de Exactitud: M1)	M-0726-2021
METROIL	PESAS DE 10 kg (Clase de Exactitud: M1)	M-0687-2021
METROIL	PESAS DE 20 kg (Clase de Exactitud: M1)	M-0688-2021
METROIL	JUEGO DE PESAS 1 g a 1 kg (Clase de Exactitud: F1)	M-0689-2021

### 10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- (\*\*) Código indicada en una etiqueta adherido al equipo.



INVERSIONES Y TECNOLOGIA DE  
PAVIMENTOS S.A.

Darwin Grabiell Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 086 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 3 de 4

### 11. Resultados de Medición

#### INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

#### ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temperatura	20.6 °C	20.6 °C

INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

Medición N°	Carga L1 = 15,000 g			Carga L2 = 30,000 g			
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	
1	15,000	0.4	0.1	30,001	0.8	0.7	
2	14,999	0.2	-0.7	30,000	0.5	0.0	
3	15,000	0.6	-0.1	29,999	0.2	-0.7	
4	15,000	0.6	-0.1	30,000	0.4	0.1	
5	15,000	0.5	0.0	30,000	0.5	0.0	
6	15,000	0.5	0.0	29,999	0.5	-1.0	
7	15,000	0.4	0.1	30,001	0.7	0.8	
8	14,999	0.3	-0.8	30,000	0.5	0.0	
9	15,000	0.5	0.0	30,000	0.5	0.0	
10	15,000	0.5	0.0	29,999	0.3	-0.8	
Diferencia Máxima			0.9	Diferencia Máxima			1.8
Error Máximo Permissible			± 3.0	Error Máximo Permissible			± 3.0



#### ENSAYO DE EXCENRICIDAD

2	5
1	
3	4

Posición de las cargas

	Inicial	Final
Temperatura	20.6 °C	20.6 °C

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)
1	10 g	10	0.5	0.0	10,000	10,000	0.6	-0.1	-0.1
2		10	0.6	-0.1		10,000	0.5	0.0	0.1
3		10	0.6	-0.1		9,999	0.2	-0.7	-0.6
4		10	0.5	0.0		10,000	0.5	0.0	0.0
5		10	0.5	0.0		10,000	0.5	0.0	0.0
Error máximo permisible									± 3.0

\* Valor entre 0 y 10e



Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 086 - 2022

Página 4 de 4

### ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	20.6 °C	20.6 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p** (± g)
	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
10	10	0.8	-0.3						
20	20	0.6	-0.1	0.2	20	0.5	0.0	0.3	1.0
100	100	0.4	0.1	0.4	100	0.6	-0.1	0.2	1.0
500	500	0.9	-0.4	-0.1	500	0.4	0.1	0.4	2.0
1,000	1,000	0.5	0.0	0.3	1,000	0.8	-0.3	0.0	2.0
5,000	5,000	0.6	-0.1	0.2	5,000	0.9	-0.4	-0.1	3.0
10,000	10,000	0.5	0.0	0.3	10,000	0.5	0.0	0.3	3.0
15,000	15,000	0.4	0.1	0.4	15,000	0.2	0.3	0.6	3.0
20,000	20,000	0.5	0.0	0.3	20,000	0.6	-0.1	0.2	3.0
25,000	24,999	0.2	-0.7	-0.4	25,000	0.5	0.0	0.3	3.0
30,000	29,999	0.3	-0.8	-0.5	29,999	0.2	-0.7	-0.4	3.0

\*\* error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.  
l: Indicación de la balanza.

ΔL: Carga adicional.  
E: Error encontrado

E<sub>0</sub>: Error en cero.  
E<sub>c</sub>: Error corregido.

Incertidumbre expandida de medición  $U = 2 \times \sqrt{(0.5618333 \text{ g}^2 + 0.0000000037 \text{ R}^2)}$

Lectura corregida  $R_{\text{CORREGIDA}} = R + 0.0000046 R$

### 12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento



INVERSIONES Y TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.  
Darwin Graniel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 033- 2022

Página 1 de 5

1. Expediente 0526-2022
2. Solicitante **INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.**
3. Dirección Jr. Felipe Cohaila Rivera Nro. 818 - Tomas Valle - San Martin De Porres - Lima
4. Equipo **BAÑO MARÍA**
- Alcance Máximo 99.9 °C
- Marca PERUTEST
- Modelo NK-8AK
- Número de Serie 200810
- Procedencia CHINA
- Identificación NO INDICA

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Descripción	Instrumento de medición	Controlador / Selector
Alcance	20 °C a 99.9 °C	22 °C a 99.9 °C
División de escala / Resolución	0.1 °C	0.1 °C
Tipo	TERMÓMETRO DIGITAL	CONTROLADOR DIGITAL

5. Fecha de Calibración 2022-02-22

Fecha de Emisión

2022-02-22

Jefe del Laboratorio de Metrología

MANUEL ALEJANDRO ANAGA TORRES

Sello



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518



Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 033- 2022

Página 2 de 5

### 6. Método de Calibración

La calibración se efectuó por comparación directa con termómetros patrones calibrados que tienen trazabilidad a la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT 90), se consideró como referencia el Procedimiento para la Calibración de Medios Isotérmicos con aire como Medio Termostático PC-018; 2da edición; Junio 2009, del SNM-INDECOPI.

### 7. Lugar de calibración

Laboratorio de Temperatura de CALIBRATEC S.A.C.  
Avenida Chillón Lote 50B - Comas - Lima - Lima

### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	20.4 °C	20.4 °C
Humedad Relativa	65 %	65 %

### 9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado y/o Informe de calibración
MSG - LABORATORIO ACREDITADO REGISTRO: LC-038	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL DE 10 CANALES TERMOPARES TIPO T - DIGISENSE	LTT21-0363
METROIL - LABORATORIO ACREDITADO REGISTRO: LC-001	THERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO MODELO: HTC-8	T-1774-2021



### 10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de **CALIBRADO**.
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.



INVERSIONES Y TECNOLOGIA DE  
PAVIMENTOS S.A.C.

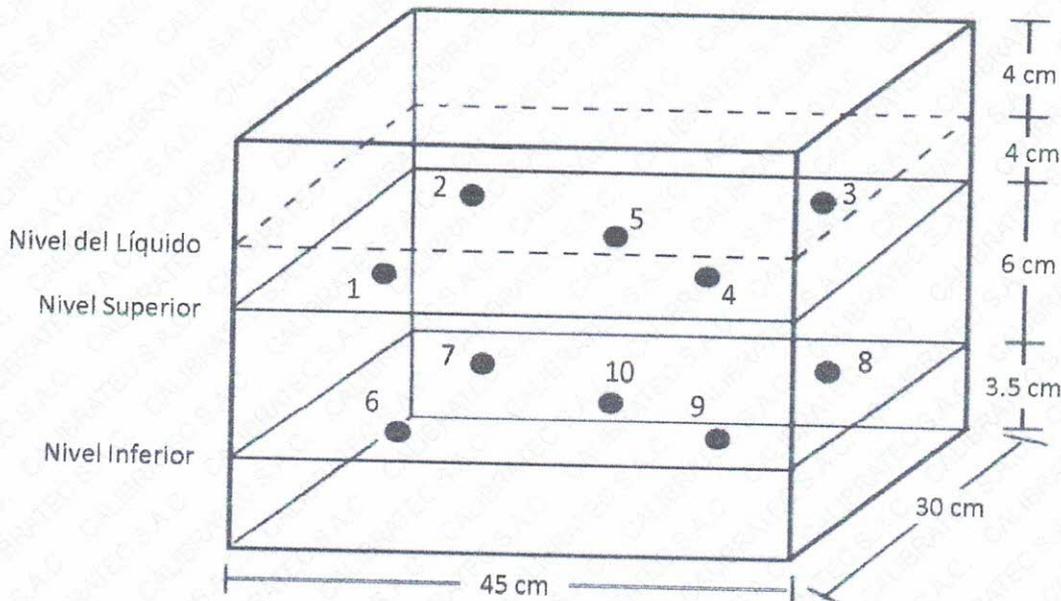
Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 033- 2022

Página 5 de 5

### DISTRIBUCIÓN DE LOS TERMOPARES



Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.

Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 se colocaron a 3 cm de las paredes laterales y a 2 cm del fondo y frente del equipo a calibrar.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La Estabilidad es considerada igual a  $\pm 1/2$  DTT.

### 12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estandar por el factor de cobertura  $k=2$ , el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.



Fin del documento

INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Grabel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518



Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 033 - 2022

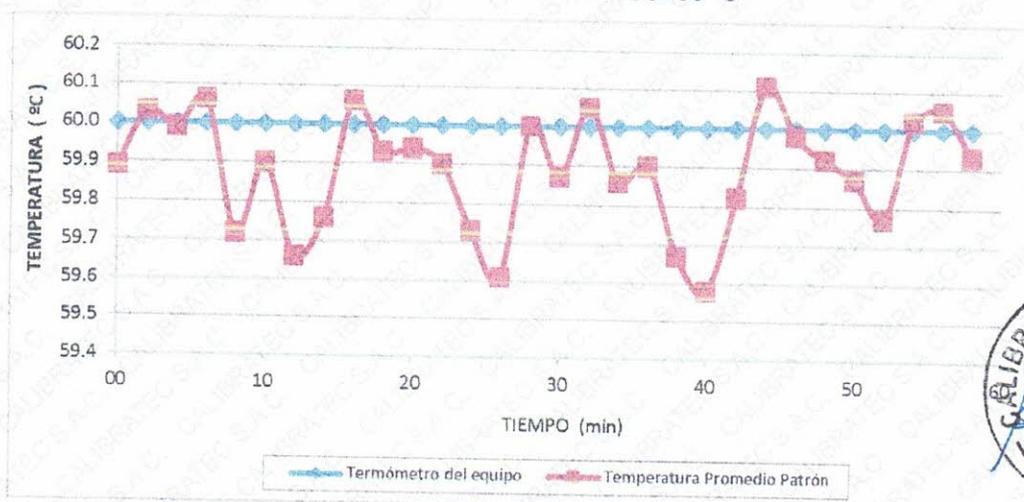
Página 4 de 5

Temperatura ambiental promedio 21.5 °C  
Tiempo de calibración del equipo 1 hora  
El controlador de temperatura se posicionó en 60°C

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	60.6	0.3
Mínima Temperatura Medida	59.1	0.0
Desviación de Temperatura en el Tiempo	1.5	0.1
Desviación de Temperatura en el Espacio	0.6	0.1
Estabilidad Medida ( ± )	0.75	0.04
Uniformidad Medida	0.9	0.1

- T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.  
T.prom : Promedio de las temperaturas en la diez posiciones de medición para un instante dado.  
T.MAX : Temperatura máxima.  
T.MIN : Temperatura mínima.  
DTT : Desviación de Temperatura en el Tiempo.

### DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO TEMPERATURA DE TRABAJO: 60 °C



Durante la calibración y bajo las condiciones en que ésta ha sido hecha, el medio isoterma SI CUMPLE con los límites especificados de temperatura.



INVERSIONES & TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS S.A.C.

Darwin Gabriel Castillo Neyra  
Ingeniero Civil  
CIP N° 243518

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 033 - 2022

Página 3 de 5

PARA LA TEMPERATURA DE 60 °C

Tiempo (min)	Termómetro del equipo (°C)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T prom (°C)	Tmax-Tmin (°C)	
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
00	60	59.8	60.4	59.9	59.8	59.7	59.9	59.7	59.9	59.9	59.9	59.9	59.9	0.7
02	60	60.0	60.5	60.1	59.9	59.8	60.1	59.9	60.1	60.0	59.9	60.0	60.0	0.7
04	60	59.9	60.5	60.0	59.8	59.9	60.0	59.8	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	0.7
06	60	60.0	60.6	60.0	59.9	60.0	60.1	60.0	60.0	59.9	60.1	60.1	60.1	0.7
08	60	59.7	60.2	59.7	59.6	59.5	59.9	59.6	59.7	59.7	59.6	59.7	59.7	0.7
10	60	59.9	60.5	59.9	59.8	59.7	59.9	59.9	59.9	59.8	59.7	59.9	59.9	0.8
12	60	59.5	60.2	59.6	59.4	59.6	59.7	59.6	59.7	59.6	59.7	59.7	59.7	0.8
14	60	59.7	60.3	59.6	59.6	59.7	59.9	59.7	59.6	59.7	59.8	59.8	59.8	0.7
16	60	60.0	60.6	60.1	59.9	59.8	60.2	59.9	60.1	60.1	59.9	60.1	60.1	0.8
18	60	59.8	60.5	60.0	59.7	59.8	60.1	59.8	60.0	59.8	59.8	59.9	59.9	0.8
20	60	59.9	60.5	59.9	59.8	59.9	60.0	59.8	59.8	59.8	60.0	59.9	59.9	0.7
22	60	59.9	60.4	59.8	59.8	59.8	59.9	59.8	59.8	59.9	59.9	59.9	59.9	0.6
24	60	59.7	60.3	59.6	59.6	59.6	59.9	59.6	59.6	59.7	59.7	59.7	59.7	0.7
26	60	59.7	59.1	59.7	59.5	59.6	60.0	59.5	59.6	59.6	59.8	59.6	59.6	0.9
28	60	59.9	60.5	60.0	59.8	59.8	60.2	59.9	60.0	59.9	60.0	60.0	60.0	0.7
30	60	59.9	60.4	59.9	59.7	59.7	59.9	59.8	59.9	59.7	59.8	59.9	59.9	0.7
32	60	60.0	60.6	60.1	59.9	59.8	60.0	60.0	60.1	60.0	60.0	60.1	60.1	0.8
34	60	59.8	60.4	59.9	59.7	59.7	59.9	59.8	59.9	59.8	59.7	59.9	59.9	0.7
36	60	59.9	60.5	59.8	59.8	59.7	60.0	59.9	59.8	59.8	59.8	59.9	59.9	0.8
38	60	59.6	60.3	59.5	59.5	59.5	59.9	59.6	59.6	59.6	59.6	59.7	59.7	0.8
40	60	59.6	59.1	59.6	59.5	59.6	59.7	59.6	59.7	59.7	59.7	59.6	59.6	0.6
42	60	59.7	60.3	59.9	59.6	59.7	59.9	59.7	59.9	59.7	59.8	59.8	59.8	0.7
44	60	60.1	60.6	60.1	60.0	60.0	60.2	60.0	60.0	60.1	60.0	60.1	60.1	0.6
46	60	59.9	60.5	60.0	59.8	59.8	60.0	60.0	60.0	59.9	59.9	60.0	60.0	0.7
48	60	59.9	60.5	59.9	59.7	59.8	60.0	59.9	59.9	59.8	59.8	59.9	59.9	0.8
50	60	59.8	60.4	59.8	59.8	59.7	59.9	59.8	59.8	59.9	59.8	59.9	59.9	0.7
52	60	59.7	60.4	59.6	59.6	59.5	60.0	59.8	59.8	59.7	59.6	59.8	59.8	0.9
54	60	60.0	60.6	59.9	59.9	59.8	60.2	60.0	59.9	60.0	59.9	60.0	60.0	0.8
56	60	60.0	60.5	60.1	59.9	59.9	60.0	60.0	60.1	60.0	60.0	60.1	60.1	0.6
58	60	59.9	60.4	59.9	59.7	59.8	60.0	59.9	59.9	59.9	59.9	59.9	59.9	0.7
60	60	59.7	60.3	59.9	59.7	59.5	59.8	59.7	59.8	59.7	59.6	59.8	59.8	0.8
T.PROM	60.0	59.8	60.4	59.9	59.7	59.7	60.0	59.8	59.9	59.8	59.8	59.9	59.9	
T.MAX	60.0	60.1	60.6	60.1	60.0	60.0	60.2	60.0	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	
T.MIN	60.0	59.5	59.1	59.5	59.4	59.5	59.7	59.5	59.6	59.6	59.6	59.6	59.6	
DTT	0.0	0.6	1.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	



### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LTF - 014 - 2021

Área de Metrología  
Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

Página 1 de 3

1. Expediente	02545-2021
2. Solicitante	INGENIERIA GEOTECNICA Y CONTROL DE CALIDAD S.A.C.
3. Dirección	MZA. A LOTE. 24 INT. 1 URB. MAYORAZGO NARANJAL 2DA ETAPA LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES
4. Instrumento de medición	MÁQUINA PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN TIPO LOS ÁNGELES
Fabricante	PERUTEST
Número de Serie	0102
Modelo	STMH-3
Alcance de Indicación	0 a 9999 rpm
Div. de escala/Resolución	1 rpm
Identificación	NO INDICA
Procedencia	CHINA
Tipo de indicación	DIGITAL
5. Fecha de Calibración	2021-09-21
6. Lugar de calibración	Avenida Chillón Lote 50B - Comas - Lima

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2021-09-21

Jefe del Laboratorio de Metrología

  
MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

Sello



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LTF - 014 - 2021

Área de Metrología

Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

Página 2 de 3

### 7. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SNM/INDECOPI tomado como referencia la norma internacional ASTM C131 "Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine".

### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	20.4 °C	20.2 °C
Presión Atmosférica	56 %	58 %

### 9. Patrones de referencia

Se utilizaron patrones trazables al SNM-INDECOPI, con los siguientes certificados de calibración:

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
METROIL	CRONOMETRO DIGITAL PTF-002	T'S-0117-2021
METROIL	PIE DE REY DIGITAL 200 mm MARCA: INSIZE"	L-0757-2021
METROIL	JUEGO DE PESAS 1 mg a 1 kg (Clase de Exactitud: F1)	M-0689-2021
METROIL	CINTA METRICA MARCA STANLEY	L-0758-2021
METROIL	TERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO	T-1774-2021

### 10. Resultados

Características de las esferas

Nº	MEDICIÓN DE LAS ESFERAS	
	Diámetro ( mm )	Peso ( g )
1	46.68	415.92
2	46.69	415.88
3	26.69	415.96
4	46.69	415.74
5	46.68	415.68
6	46.69	415.81
7	46.69	416.00
8	46.69	415.89
9	46.68	415.83
10	46.69	415.94
11	46.68	415.83
12	46.68	415.90



Área de Metrología

Laboratorio de Tiempo y Frecuencia

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
CA - LTF - 014 - 2021

Página 3 de 3

Determinación del vuelta/tiempo

Tiempo (seg)	INDICACIÓN DEL PATRÓN			Giro de la Máquina (rpm)
	NÚMERO DE VUELTAS	NÚMERO DE VUELTAS	NÚMERO DE VUELTAS	
60	31	32	31	31.3
120	61	63	62	30.7
180	91	94	93	30.7
240	121	125	124	30.7
300	151	156	155	30.7
360	182	187	186	31.0
420	212	218	216	30.3
480	242	249	247	30.7
540	272	280	277	30.3
600	302	311	308	30.7
660	332	342	339	30.7
720	363	372	370	30.7
780	393	403	402	31.0
840	423	434	433	30.7
900	454	465	464	31.0

**Nota 1.-** El peso adecuado para las esferas debe ser de entre 390 g y 445 g. el diámetro debe estar entre 46,38 mm y 47,63 mm.

**Nota 2.-** El cilindro del equipo debe girar a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm.

**Nota 3.-** El rango admisible para el diámetro interior del tambor del equipo es de  $711 \pm 5$  mm.

**Nota 4.-** El rango admisible para la longitud interior del tambor del equipo es de  $508 \pm 5$  mm.

11. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.



Fin del documento

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
CCB-023-2022**

Peticionario : INGEOCONTROL SAC

Atención : INGEOCONTROL SAC

Lugar de calibración : Mz. A lote 24 Urb. Mayorazgo 2da. Etapa - San Martín de Porras - Lima.

Instrumento de medición : Balanza de funcionamiento no automático

Marca : Electronic Balance Clase : III

Número de serie : 201224101 Tipo : Digital

Código de identificación : LS-11 Modelo : WT100001XES

Capacidad máxima : 10000 g Procedencia : China

División de escala (d) : 0,1 g

División de verificación (e) : 1 g

Método de calibración : Procedimiento de calibración de balanzas de funcionamiento no automático clase III y clase IIII - PC 001 - Indecopi - tercera edición

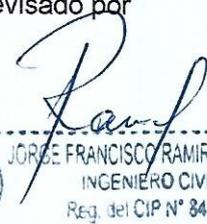
Patrones de referencia : Patrones utilizados, 01 juego de pesas clase F1 de 1 - 500 g con certificado de calibración M-0306-2021, 02 pesas clase F1 de 2 kg con certificados de calibración M-0293-2021, M-0294-2021, 01 pesa clase F1 de 1 Kg con certificado de calibración M-0292-2021, 02 pesas clase F1 de 20 mg con certificados de calibración M-0300-2021, M-0307-2021, 01 pesa clase F1 de 10 mg con certificado de calibración M-0299-2021, 01 pesa clase F1 de 50 mg con certificado de calibración M-0301-2021 01 pesa clase F1 de 100 mg con certificado de calibración M-0302-2021, 02 pesas clase F1 de 200 mg con certificado de calibración M-0303-2021, M-0304-2021, 01 pesa clase F1 de 500 mg con certificado de calibración M-0305-2021, 01 pesa clase F1 de 5 kg con certificado de calibración M-0295-2021 y 01 pesa clase F1 de 10 kg con certificado de calibración N° M-0296-2021. Con trazabilidad METROIL.

Fecha de calibración : 2022-05-13

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido sin modificaciones y en su totalidad.

Las modificaciones y extractos del certificado necesitan autorización de CELDA EIRL.

El presente certificado sin firmas y sellos carece de validez.

Sello	Fecha	Hecho por	Revisado por
	2022-05-16	 Vladimir Tello Torre TECNICO DE LABORATORIO	 JORGE FRANCISCO RAMIREZ JAPAJA INGENIERO CIVIL Reg. del CIP N° 84286

**RESULTADOS DE MEDICIÓN**
**INSPECCIÓN VISUAL**

Ajuste a cero	Si
Oscilación Libre	Si
Plataforma	Si
Sistema de Traba	No

Escala	No
Cursor	No
Nivelación	Si

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

T. (°C)	Inicial	Final
	20,1	20,1

H. R. (%)	Inicial	Final
	72	72

Medición N°	Carga L1 = 5000 g			Carga L2 = 10000 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	5000,0	0,07	0,43	9999,8	0,08	0,22
2	4999,9	0,07	0,33	9999,8	0,08	0,22
3	4999,9	0,07	0,33	9999,8	0,08	0,22
4	5000,0	0,07	0,43	9999,9	0,08	0,32
5	5000,0	0,07	0,43	9999,9	0,08	0,32
6	4999,9	0,07	0,33	9999,9	0,08	0,32
7	4999,9	0,07	0,33	9999,9	0,08	0,32
8	5000,0	0,07	0,43	9999,9	0,08	0,32
9	4999,9	0,07	0,33	9999,9	0,08	0,32
10	5000,0	0,07	0,43	9999,8	0,08	0,22

$$E = I + \frac{1}{2}e - \Delta L - L$$

**ENSAYO DE EXCENRICIDAD**

2	1	3
5		4

Posición de las cargas

T. (°C)	Inicial	Final
	20,0	20,1

H. R. (%)	Inicial	Final
	72	72

Posición de carga	Determinación de Eo				Determinación del error corregido Ec				
	carga en cero* (g)	I (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)
1	10,0	10,0	0,04	0,46	3000,0	3000,0	0,06	0,44	-0,02
2	10,0	10,0	0,04	0,46	3000,0	3000,0	0,06	0,44	-0,02
3	10,0	10,0	0,04	0,46	3000,0	3000,0	0,06	0,44	-0,02
4	10,0	10,0	0,04	0,46	3000,0	3000,0	0,06	0,44	-0,02
5	10,0	9,9	0,04	0,36	3000,0	3000,0	0,06	0,44	0,08

\* valor entre 0 y 10e

$$E = I + \frac{1}{2}e - \Delta L - L$$

$$Ec = E - Eo$$



**ENSAYO DE PESAJE**

T. (°C)	Inicial	Final
	20,0	20,0

H. R. (%)	Inicial	Final
	72	72

Carga L (g)	Crecientes				Decrecientes				E.M.P.* (g)
	I (g)	$\Delta L$ (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	$\Delta L$ (g)	E (g)	Ec (g)	
10	10,0	0,04	0,46	(*)					
100	100,0	0,04	0,46	0,00	100,0	0,05	0,45	-0,01	1
300	300,0	0,05	0,45	-0,01	300,0	0,05	0,45	-0,01	1
500	500,0	0,05	0,45	-0,01	500,0	0,05	0,45	-0,01	1
1000	1000,0	0,05	0,45	-0,01	1000,0	0,05	0,45	-0,01	2
1500	1500,0	0,05	0,45	-0,01	1500,0	0,05	0,45	-0,01	2
2000	2000,0	0,06	0,44	-0,02	2000,0	0,06	0,44	-0,02	2
4000	4000,0	0,06	0,44	-0,02	4000,0	0,06	0,44	-0,02	3
6000	6000,0	0,07	0,43	-0,03	6000,0	0,07	0,43	-0,03	3
8000	8000,0	0,07	0,43	-0,03	8000,0	0,07	0,43	-0,03	3
10000	9999,9	0,08	0,32	-0,14	9999,9	0,08	0,32	-0,14	3

(\*) Carga para determinar Eo

$$E = I + \frac{1}{2} e - \Delta L - L$$

$$E_c = E - E_o$$

E.M.P.\* = Error máximo permisible

<b>INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN</b>	$U = 0,0021 + (0,0000063)I$
-------------------------------------	-----------------------------

 I = Indicación de la balanza  
 Eo = Error en cero

 E = Error de la balanza  
 Ec = Error corregido

**Incertidumbre**

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la Incertidumbre Expandida de medición, que resulta de multiplicar la Incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$  y ha sido determinada de acuerdo a la "Guía para la expresión de la Incertidumbre en la medición".

**Notas**

El usuario está obligado a tener el equipo calibrado en intervalos apropiados de tiempo de acuerdo al uso, mantenimiento y conservación al que este expuesto.

