TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA - PERÚ

2026

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
UNIVERSIDAD ANDINA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE : Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

PRIMER MIEMBRO : Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

ASESOR DE TESIS : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 0330-2026-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 04 de junio del 2026

VISTO: El expediente **N° 2026-CU-004433** presentado por el (la) Bachiller: **IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ,** quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS,** la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

* **Presidente** : Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
* **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
* **2do Miembro** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

ARTICULO SEGUNDO. – RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA.**

ARTICULO TERCERO. – APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ;** del informe final de la investigación (tesis) titulada: **INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.** de acuerdo al siguiente detalle:

* **FECHA** : Jueves 11 de junio del 2026
* **HORA** : 09:30 hr
* **LUGAR** : Aula 406 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DECANO
Dr. Ronald Mamani Tapia
DECANO (e)
CIP. 66975

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
Interesado (a)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

RESOLUCIÓN DECANAL N° 0145-2026-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 06 de abril del 2026

VISTO: El expediente **N° 2025-CU-11487** por el señor (a): **IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO – **N° 0027-2026**-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato **N° 027-2026** del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ,** ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Leonel Suasaca Pelinco** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 027-2026 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- **APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN,** presentado por el señor (a): **IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ,** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES,** en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la), **Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA.**

ARTÍCULO TERCERO.- **DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Ronald Madera Terán
DECANO (e)
CIP: 66975

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2026
interesado (a)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

RESOLUCIÓN DECANAL N° 398-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 03 de junio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 2294, presentado por el señor (a) IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO – N° 274 -2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 018 -2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ ha presentado su propuesta de investigación Titulada: INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Cesar Guillermo Camargo Najar de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 018 -2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS correspondiente a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE MATERIALES.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y Cs. PURAS

M.Sc. WALTER J. LIZARRAGA ARMAZA
DECANO (e)
CIP. 70808

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2025
Interesado (a)

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
turnitin Página 1 de 248 - Portada Identificador de la entrega trn:oid:::13016:604540618
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ

INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA ...

Trabajos de tesis para ingreso a repositorio

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::13016:604540618

Fecha de entrega
3 jul 2026, 20:57 GMT-5

Fecha de descarga
4 jul 2026, 20:25 GMT-5

Nombre del archivo
T036_70217381_T.docx

Tamaño del archivo
16.4 MB

239 páginas

39.860 palabras

205.610 caracteres

turnitin Página 1 de 248 - Portada Identificador de la entrega trn:oid:::13016:604540618
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

14% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

11%	Fuentes de Internet
1%	Publicaciones
11%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TÍTULO DE LA TESIS	
INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70217381
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-1832-9463
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02306659
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-0268-5061
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02441152
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558

Datos de investigación	
Línea de investigación	TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Cabanillas Coordenadas: Latitud: -14.4538616 Longitud: -69.5992276 https://maps.app.goo.gl/wroted586RJK367Z9 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2025 – Junio 2026
URL de disciplinas OCDE https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.04	**Ingeniería Civil** https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00 **Ingeniería de la construcción** https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ, identificado con DNI Nro. 70217381 en mi condición de egresado de:

☒ **Escuela Profesional**

☐ **Programa de Segunda Especialidad,**

☐ **Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA CIVIL,

informo que he elaborado el/la ☒ **Tesis** o ☐ **Trabajo de Investigación,** ☐ **Trabajo Académico** denominada:

INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS

Asesorado por: Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como suyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 22 de JUNIO del 2026



Firma del Asesor (obligatoria)

FIRMA (obligatoria)

Huella

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por su constante guía en mi vida, por brindarme fortaleza y sabiduría en los momentos de mayor adversidad, y por ser el faro que ilumina mis decisiones. Solo en Él deposito mi confianza para que mis anhelos y proyectos se materialicen según su voluntad divina.

Agradezco de todo corazón a mi amado padre, Dionicio, por haber depositado su confianza en mí y haberme brindado la oportunidad de alcanzar el tan anhelado sueño de convertirme en un profesional. Su inquebrantable apoyo a lo largo de todos estos años transcurridos ha sido fundamental en mi camino hacia el éxito.

Agradezco profundamente a mi madre, Felipa, por inculcarme desde mi más tierna infancia valores fundamentales como la disciplina y el cuidado. Gracias a su dedicación, enseñanzas, inteligencia y sabiduría, así como por haber creído en mí incluso en los momentos en que yo mismo dudaba, he logrado alcanzar mis metas. Este éxito, sin duda alguna, es también suyo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de todo corazón a Dios por haberme guiado de manera inquebrantable a lo largo de los cinco años de mi exigente formación profesional, por velar por mi bienestar en cada instante y en medio de cualquier circunstancia que se haya presentado en este arduo camino de aprendizaje y crecimiento personal.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis queridos padres por el inmenso interés y dedicación que han demostrado al apoyarme en la consecución de un nuevo logro en mi carrera profesional. Gracias por acompañarme en el camino hacia la realización de mis metas y por brindarme un amor incondicional que llena mi corazón de alegría y gratitud.

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a la prestigiosa universidad andina Néstor Cáceres Velásquez, donde tuve la oportunidad de adquirir los conocimientos necesarios para desempeñarme como un profesional íntegro y competente en el ámbito académico.

Agradecemos profundamente a los docentes por su incansable esfuerzo y dedicación en la minuciosa elaboración y/o cuidadosa preparación de sus clases, con el objetivo de lograr una óptima retención de los conocimientos impartidos a lo largo de los cinco enriquecedores años de formación académica.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA iii
AGRADECIMIENTOS iv
ÍNDICE GENERAL v
ÍNDICE DE TABLAS xiii
ÍNDICE DE FIGURAS xix
RESUMEN xxi
ABSTRACT xxii
INTRODUCCIÓN xxiii

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 1
1.1.1 Planteamiento del problema 1
1.1.2 A nivel internacional 1
1.1.3 A nivel nacional 1
1.1.4 A nivel local 2
1.1.5 Análisis De La Situación Problemática 2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 3
1.2.1 Problema principal 3
1.2.2 Problemas específicos 3
1.3 JUSTIFICACIÓN 3
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 5
1.4.1 Objetivos generales 5
1.4.2 Objetivos específicos 5
1.5 HIPÓTESIS 6

1.5.1 Hipótesis general 6

1.5.2 1.5.2 Hipótesis específicas 6

1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 7

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO 8

2.1.1. A nivel internacional 8

2.1.2. A nivel nacional 11

2.1.3. A nivel local 14

2.2. BASES TEÓRICAS 16

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 21

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN. 45

3.1.1. Enfoque de la investigación 45

3.1.2. Tipo de la investigación 45

3.1.3. Nivel de la investigación 46

3.1.4. Diseño de la investigación 46

3.1.5. Método de la investigación 47

3.2. ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN. 47

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA. 47

3.4. AMBITO DE ESTUDIO 48

3.4.1. Ubicación del área en estudio 48

3.4.2. Descripción del área de estudio 48

3.4.3. Muestreo y preparación de muestras para el estudio 49

3.5. PRUEBAS QUE SE REALIZARON A LOS AGREGADOS 49
3.6. DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS AL SULFATO DE MAGNESIO ... 53
3.7. DETERMINACION DE INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO 56
3.8. Método de ensayo para determinar chatas y alargadas 58
3.9. PORCENTAJES DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS .. 60
3.10. SALES SOLUBLES TOTALES 63
3.11. ESTIMACIÓN DEL GRADO DE ADHERENCIA DE PARTÍCULAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, PEN 120/150 65
3.12. DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA (ARENA NATURAL) 68
3.13. DETERMINACIÓN DE LA ANGULARIDAD DE AGREGADO FINO (ARENA NATURAL) 72
3.14. DETERMINACIÓN DE LA ANGULARIDAD DE AGREGADO FINO (ARENA CHANCADA) 74
3.15. ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS ARIDOS FINOS (PROCEDIMIENTO RIEDEL - WEBER) – ARENA NATURAL. 75
3.16. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ARENA NATURAL 79
3.17. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ARENA CHANCADA 79
3.18. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DURABILIDAD AGREGADO (ARENA NATURAL) 80
3.19. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DURABILIDAD AGREGADO (ARENA CHANCADA) 83
3.20. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ARENA NATURAL 85

3.21. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD PIEDRA CHANCADA. 85
3.22. SALES SOLUBLES TOTALES (ARENA NATURAL)..... 86
3.23. SALES SOLUBLES TOTALES (ARENA CHANCADA)..... 89
3.24. DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO Y ADSORCION DEL AGREGADO FINO (ARENA NATURAL)..... 90
3.25. DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO Y ADSORCION DEL AGREGADO FINO (ARENA CHANCADA)..... 93
3.26. DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE (MAC-2)..... 95
3.26.1. Análisis Granulométrico Por Tamizado (Piedra Chancada 1/2) 95
3.26.2. análisis granulométrico por tamizado (arena chancada)..... 97
3.26.3. Análisis granulométrico por tamizado (arena natural) 99
3.26.4. Análisis granulométrico por tamizado filler silico 101
3.26.5. Análisis granulométrico por tamizado PET 103
3.26.6. Análisis granulométrico por tamizado (combinación teórica de agregados) 104
3.26.7. Análisis granulométrico por tamizado (verificación mezcla de agregados) 105
3.27. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (PATRON) 107
3.28. DENSIDAD Y ANÁLISIS DE LOS HUECOS EN CADA ESPÉCIMEN (RICE).... 111
3.28.1. Diseño de mezcla asfáltica en caliente..... 111
3.28.2. Peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica para pavimentos . 113
3.28.3. Determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico 115
3.29. DISEÑO MAC-2 CON ADICION DE PET..... 116

3.29.1. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con adición de PET al 1%,2%,3%..... 116
3.29.2. Estabilidad y flujo 119
3.29.3. Densidad y análisis de los huecos en cada espécimen (RICE) 119
3.29.4. Peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica para pavimentos con adición de PET. 121
3.29.5. Determinación del porcentaje optimo de adicción de pet. 121

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN..... 123
4.1.1. Análisis E Interpretación De Resultados 123
4.1.1.1. Determinación del índice de durabilidad agregado (Piedra chancada ½")..... 125
4.1.1.2. Método de ensayo para determinación de partículas chatas y alargadas en agregado grueso (Piedra chancada ½")..... 126
4.1.1.3. Método de ensayo para determinación de las caras de fractura en agregados grueso (Piedra chancada ½"). 129
4.1.1.4. Estimación del grado de adherencia de partículas de mezclas asfáltica (piedra chancada ½"). 132
4.1.2. Propiedades Físicas Arena Natural Y Arena Chancada 133
4.1.2.1. Determinación del equivalente de arena (Arena natural). 133
4.1.2.2. Determinación del equivalente de arena (Arena chancada).. 134
4.1.2.3. Determinación de la angularidad de agregados fino (Arena natural)..... 135
4.1.2.4. Determinación de la angularidad de agregados fino (Arena chancada). 136

4.1.2.5. Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos (Procedimiento Riedel - Weber) de arena natural. 137
4.1.2.6. Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos (Procedimiento Riedel - Weber) de arena chancada. 138
4.1.2.7. Determinación del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (Arena natural con el tamiz N°40). 139
4.1.2.8. Determinación del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (Arena chancada con el tamiz N°40). 140
4.1.2.9. Determinación del índice de durabilidad agregado (Arena natural). ... 141
4.1.2.10. Determinación del índice de durabilidad agregado (Arena chancada). 142
4.1.2.11. Determinación del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (arena natural con el tamiz n°200). 143
4.1.2.12. Determinación del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (Arena chancada con el tamiz N°200). 144
4.1.2.13. Sales solubles totales (Arena natural)..... 145
4.1.2.14. Sales solubles totales (Arena chancada)..... 146
4.1.2.15. Determinación del peso específico y adsorción del agregado fino (Arena natural). 147
4.1.2.16. Determinación del peso específico y adsorción del agregado fino (Arena chancada). 148
4.1.3. Resultados De Propiedades De Pet 150
4.1.3.1. Análisis granulométrico por tamizado (PET). 150
4.1.4. Resultados diseño mac – 2 sin adiciones..... 151
4.1.4.1. Análisis granulométrico por tamizado (Piedra chancada ½"). 151

4.1.4.2. Análisis granulométrico por tamizado (Arena chancada). 153
4.1.4.3. Análisis granulométrico por tamizado (Arena natural) 155
4.1.4.4. Análisis granulométrico por tamizado (Filler silico) 157
4.1.4.5. Análisis granulométrico por tamizado (Combinación teórica de agregados) 159
4.1.4.6. Análisis granulométrico por tamizado (Verificación mezcla agregados) 161
4.1.5. Resultados De Mezcla Asfáltica En Caliente Método Illinois Marshall - Determinación Del Porcentaje Optimo De Cemento Asfaltico 163
4.1.5.1. Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % de vacíos (C.A. 5.50 %) 163
4.1.5.2. Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (C.A. 6.00 %) 164
4.1.5.3. Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y el % de vacíos (C.A. 7.00 %) 165
4.1.5.4. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 5.50 %) . 166
4.1.5.5. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 6.50 %) . 167
4.1.5.6. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 7.00 %) . 168
4.1.5.7. Gráficos de determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico... 168
4.1.6. Gráficos Marshall de los resultados obtenidos 170
4.1.7. Comparación De Los Resultados Obtenidos 171
4.1.8. Comparación de los resultados rice obtenidos con % de c.a. 174
4.1.9. Resultados Del Diseño Mac – 2 Con Incorporación De Pet 175
4.1.9.1. Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 2.00 %) 176

4.1.9.2. Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 3.00 %) 177
4.1.10. Resultados De Rice 178
4.1.10.1. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 1.00%).... 178
4.1.10.2. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 2.00%).... 179
4.1.10.3. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 3.00%) 179
4.1.10.4. Gráficos de determinación del porcentaje óptimo de incorporación de PET..... 180
4.1.11. Comparación De Los Resultados Obtenidos Con Incorporacion De Pet .. 182
4.1.12. Comparación De Los Resultados Rice Obtenidos Con Incorporación De 00000000000..... 185
4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS (según método) 186
4.2.1. Resultados para la comprobación de hipótesis 186
4.2.1.1. Comprobación de la Hipótesis Especifica 1 186
4.2.1.2. Planteamiento de Hipótesis para la estabilidad 187
4.2.1.3. Comprobación de la Hipótesis Especifica 2 188
4.2.1.4. Planteamiento de Hipótesis para el Flujo 188
4.2.1.5. Comprobación de la Hipótesis Especifica 3 191
4.2.1.6. Planteamiento de Hipótesis para el Flujo 191
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 192
CONCLUSIONES 197
RECOMENDACIONES 199
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 201
ANEXOS 204

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variable 7

Tabla 2 Características técnicas del PET. 18

Tabla 3 Requerimiento para los agregados gruesos 38

Tabla 4 Requerimiento para los agregados finos 39

Tabla 5 Requerimiento de gradación para la mezcla asfáltica en caliente (MAC) .. 40

Tabla 6 Criterios de diseño de la mezcla Marshall. 42

Tabla 7 Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral VMA. 42

Tabla 8 Gradación de la muestra para el ensayo % de desgaste. 51

Tabla 9 Tamaño de mallas 52

Tabla 10 Resultados del desgaste 52

Tabla 11 Durabilidad de los agregados piedra chancada ½" 55

Tabla 12 Determinación del índice de durabilidad Piedra Chancada 1/2 58

Tabla 13 Determinación de chatas y alargadas de Piedra chancada ½ 59

Tabla 14 Determinación de las caras de fractura en agregado grueso. 62

Tabla 15 Determinación de sales solubles totales 64

Tabla 16 Determinación del equivalente de arena natural. 70

Tabla 17 Determinación del equivalente de arena (arena chancada) 72

Tabla 18 Determinación de la angularidad de agregado fino (arena natural) ... 73

Tabla 19 Determinación de la angularidad de agregado fino. 75

Tabla 20 Determinación de la adhesividad del cemento asfaltico 76

Tabla 21 Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (procedimiento riedel - weber) de arena natural. 77

Tabla 22 Adhesividad de los ligantes bituminosos (arena chancada) 78

Tabla 23 Determinación de límites de arena natural (NO PRESENTA) 79

Tabla 24 Determinación de limites arena chancada (NO PRESENTA) 80

Tabla 25 Determinación del índice de durabilidad arena natural 82

Tabla 26 Índice de durabilidad agregado (arena chancada) 84

Tabla 27 Determinación del limites arena natural 85

Tabla 28 Determinación del limites arena chancada 86

Tabla 29 Descripción sales solubles totales arena natural 88

Tabla 30 Determinación de sales solubles totales de arena chancada 89

Tabla 31 Determinación del peso específico y adsorción de arena natural 92

Tabla 32 Determinación del peso específico y adsorción del agregado fino de arena chancada 94

Tabla 33 Análisis granulométrico por tamizado 96

Tabla 34 Análisis granulométrico por tamizado 98

Tabla 35 Análisis granulométrico por tamizado 100

Tabla 36 Análisis granulométrico por tamizado 102

Tabla 37 Análisis granulométrico por tamizado 103

Tabla 38 Análisis granulométrico por tamizado 105

Tabla 39 Graduación 423-03 106

Tabla 40 Analices granulométrico 107

Tabla 41 Cuadro resumen de cemento asfaltico 5.50% 111

Tabla 42 Cuadro resumen de cemento asfaltico 6.00% 112

Tabla 43 Cuadro resumen de cemento asfaltico 6.50% 112

Tabla 44 Cuadro resumen de cemento asfaltico 7.00% 113

Tabla 45 Peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica para 5.50% de C.A. .. 113

Tabla 46 Peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica para 6.00% de C.A. .. 114

Tabla 47 Peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica para 6.50% de C.A ... 114

Tabla 48 Peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica para 7.00% de C.A. .. 115

Tabla 49 Determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico según los resultados obtenidos. 115

Tabla 50 PET para la primera muestra es de: 1%..... 120

Tabla 51 PET para la segunda muestra es de: 2% 120

Tabla 52 PET para la tercera muestra es de: 3%..... 121

Tabla 53 TABLA AUXILIAR PARA MODO GRAFICO..... 122

Tabla 54 Resistencia a la degradación por la máquina de abrasión de los ángeles. 123

Tabla 55 Resultados de durabilidad de los agregados al sulfato de magnesio.... 124

Tabla 56 Resultados del índice de durabilidad 125

Tabla 57 Resultado de partículas chatas y alargadas. 126

Tabla 58 Resultados de caras fracturada de agregados grueso piedra chancada ½".. 129

Tabla 59 Resultado sales solubles totales 131

Tabla 60 Resultado de estimación del grado de adherencia de partículas de mezcla asfáltica. 132

Tabla 61 Resultados de equivalente arena natural 133

Tabla 62 Resultados de equivalente de arena chancada**.** 134

Tabla 63 Resultados de angularidad de agregados de arena natural. 135

Tabla 64 Resultados de angularidad de agregados fino arena chancada 136

Tabla 65 Resultado adhesividad de los ligantes bituminosa arena natural. ... 137

Tabla 66 Resultado adhesividad de los ligantes bituminosa arena chancada. 138

Tabla 67 Resultados de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad arena natural..... 139

Tabla 68 Resultados de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad arena chancada. 140

Tabla 69 Resultado determinación del índice de durabilidad arena natural. .. 141

Tabla 70 Resultado del índice de durabilidad arena chancada..... 142

Tabla 71 Resultado del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (Arena natural con el tamiz N°200). 143

Tabla 72 Resultado de límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (Arena chancada con el tamiz N°200). 144

Tabla 73 resultado de Sales solubles totales (Arena natural). 145

Tabla 74 Resultado sales solubles totales (Arena chancada)..... 146

Tabla 75 Resultado del peso específico y adsorción del agregado fino (Arena natural). 147

Tabla 76 Resultado de peso específico y adsorción del agregado fino (Arena chancada). 148

Tabla 77 Resultado del análisis granulométrico por tamizado (PET). 150

Tabla 78 Resultado de análisis granulométrico por tamizado (Piedra chancada ½"). .. 151

Tabla 79 Resultado de análisis granulométrico por tamizado (Arena chancada). 153

Tabla 80 Resultado de análisis granulométrico por tamizado (Arena natural). 155

Tabla 81 Resultado de análisis granulométrico por tamizado (Filler silico). ... 157

Tabla 82 Resultado de análisis granulométrico por tamizado (Combinación teórica de agregados). 159

Tabla 83 Resultado de análisis granulométrico por tamizado (Verificación mezcla agregados). 161

Tabla 84 Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % de vacíos (C.A. 5.50 %) 163

Tabla 85 Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % de vacíos (C.A. 6.00 %) 164

Tabla 86 Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (C.A. 6.50 %) 164

Tabla 87 Resultados del ensayo estabilidad y flujo Marshall (C.A. 7.00 %) .. 165

Tabla 88 Resultado de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 5.50 %) 166

Tabla 89 Resultados de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 6.00 %) 167

Tabla 90 Resultado de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 6.50 %) 167

Tabla 91 Resultados de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 7.00 %) 168

Tabla 92 Resultado de gráficos de determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico. 168

Tabla 93 Cuadro resumen de la determinación del optimo contenido de cemento asfaltico. 169

Tabla 94 Resultado del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 1.00 %) .. 175

Tabla 95 Resultado del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 2.00 %) .. 176

Tabla 96 Resultado del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 3.00 %) .. 177

Tabla 97 Resultado de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 1.00%) 178

Tabla 98 Resultado de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 2.00%) 179

Tabla 99 Resultado de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 3.00%) 179

Tabla 100 Resultado de gráficos de determinación del porcentaje óptimo de incorporación de PET. 180

Tabla 101 Tabla auxiliar para el modo grafico 181

Tabla 102 Prueba de normalidad. 186

Tabla 103 Prueba estadística 188

Tabla 104 Comparaciones 189

Tabla 105 Estabilidad corregida HSD Tukey[a] 190

Tabla 106 Prueba estadística 191

Tabla 107 Pruebas comparativas con el estándar establecido por la norma.. 191

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 La primera suposición del diseño de mezcla Marshall. 27

Figura 2 Diagrama de fases masa – volumen en la mezcla asfáltica (diseño de mezcla Marshall convencional y modificado)..... 28

Figura 3 Ensayo de gravedad especifica bulk de la mezcla compactada. 29

Figura 4 Esquema para determinar gravedad especifica máxima de la mezcla asfáltica. 31

Figura 5 Visualización microscópica de los agregados, aire y asfalto..... 32

Figura 6 Diagrama de vacíos en los agregados minerales..... 33

Figura 7 Vacíos en una Mezcla de HMA Compactada 36

Figura 8 El procedimiento de diseño de mezcla Marshall 43

Figura 9 Máquina de abrasión para el ensayo del agregado grueso. 53

Figura 10 Agregado piedra chancada 1/2..... 56

Figura 11 Determinación de partículas chatas y alargadas..... 60

Figura 12 Ensayo de determinación de sales solubles totales. 65

Figura 13 Ensayo de grado de adherencia de partículas de mezclas asfálticas. .. 68

Figura 14 Determinación del equivalente de arena natural. 71

Figura 15 Determinación de la angularidad de agregado (arena natural)..... 74

Figura 16 Determinación de adhesividad..... 78

Figura 17 Determinación de durabilidad de agregado arena natural. 83

Figura 18 Determinación del índice de durabilidad de arena chancado..... 84

Figura 19 Determinación de sales solubles totales 88

Figura 20 Peso específico y adsorción 93

Figura 21 Peso específico y adsorción 94

Figura 22 Analices granulométrico..... 97

Figura 23 Analices granulométrico 99

Figura 24 Analices granulométrico 101

Figura 25 Analices granulométrico 104

Figura 26 Determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico 122

Figura 27 Curva granulométrica Piedra Chancada 1/2 152

Figura 28 Curva granulométrica arena chancada. 154

Figura 29 Curva granulométrica Arena Natural 156

Figura 30 Curva granulométrica de Filler Silico. 158

Figura 31 Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados. 160

Figura 32 Curva granulométrica de Verificación mezcla agregado. 162

Figura 33 Determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico 170

Figura 34 Comparación de estabilidad promedio corregida con relación al % C.A. .. 171

Figura 35 Comparación de flujo promedio con relación al % C.A. 172

Figura 36 comparación del % vacíos promedio con relación al % de C.A. 173

Figura 37 Comparación de los resultados rice promedio obtenidos con % de C.A. .. 174

Figura 38 Determinación del porcentaje óptimo de PET. 181

Figura 39 Comparación de estabilidad promedio con relación al PET 182

Figura 40 Flujo promedio con relación al % PET. 183

Figura 41 Comparación % de vacíos promedio con relación al % de PET. ... 184

Figura 42 Comparación de rice promedio con relación al % PET. 185

RESUMEN

Esta investigación se realizó con el objetivo de incorporar plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas, y conocer cómo influye el PET en el diseño de MAC, a nivel de toda la región de puno se evidencia bastante deterioro de la capa de rodadura. La investigación es de tipo aplicada consiste en la evaluación de los agregados de la cantera Cabanillas de la provincia de san Román, los agregados evaluados son pierda chancada, arena natural, arena chancada, filler silico, los mencionados agregados se combinan de acuerdo a la gradación y parámetros normativos. La mezcla asfáltica fue diseñada utilizando la metodología Marshall. Todos los ensayos, por lo tanto, se llevaron a cabo en el laboratorio de pavimentos y suelos conforme a las especificaciones técnicas del instituto del asfalto y de EG-2013. Estos documentos citados describen los parámetros que se respetaron durante la prueba de laboratorio. El asfalto habitual (Patrón) fue creado en el laboratorio con el objetivo de establecer la cantidad ideal de asfalto, expresada en porcentajes del 5.50%, 6.00%, 6.50% y 7.00%. Establecido que el contenido ideal de asfalto es del 6.44%. Después de tener el patrón, se ha añadido PET en proporciones del 1%, 2% y 3%, dependiendo del peso del agregado. Según los resultados obtenidos, la cantidad ideal de PET es 0.87%, cuando se agrega este material. Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, que se distingue por el uso de porcentajes. Resultados: El contenido óptimo para el asfalto convencional es del 6.44%, mientras que para el asfalto modificado, la cifra es del 0.87% de PET. Se concluye que, al agregar el 1% de PET, se incrementa notablemente la estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos; estos parámetros fueron regulados en conformidad con las normas actuales.

Palabras clave: incorporación, plástico reciclado, pet, diseño de mezcla asfáltica, estabilidad, flujo, capa de rodadura y agregado.

ABSTRACT

This research was conducted to incorporate recycled PET plastic into the design of hot mix asphalt to improve the surface course using aggregates from the Cabanillas quarry, and to understand how PET influences the design of the hot mix asphalt. Throughout the Puno region, significant deterioration of the surface course is evident. This applied research involved evaluating the aggregates from the Cabanillas quarry in the province of San Román. The aggregates evaluated were crushed stone, natural sand, crushed sand, and silica filler. These aggregates were combined according to gradation and regulatory parameters. The asphalt mix was designed using the Marshall methodology. All tests were carried out in the pavement and soil laboratory according to the technical specifications of the Asphalt Institute and EG-2013. These cited documents describe the parameters followed during the laboratory testing. The standard asphalt mix was created in the laboratory to establish the ideal asphalt content, expressed as percentages of 5.50%, 6.00%, 6.50%, and 7.00%. The ideal asphalt content was determined to be 6.44%. After creating the standard mix, PET was added in proportions of 1%, 2%, and 3%, depending on the aggregate weight. According to the results obtained, the ideal PET content is 0.87% when this material is added. This research has a quantitative approach, distinguished by the use of percentages. Results: The optimal content for conventional asphalt is 6.44%, while for modified asphalt, the figure is 0.87% PET. It is concluded that adding 1% PET significantly increases stability, flow, and void percentage; these parameters were regulated in accordance with current standards.

Keywords: incorporation, recycled plastic, PET, asphalt mix design, stability, flow, wearing course, and aggregate.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad se han construido carreteras de herradura, piedra, afirmado y al pasar los años se ha construido los pavimentos flexibles en la presente investigación se ha visto que los pavimentos convencionales tienen una infinidad de problemas en la región de puno se debe a diferentes factores como el diseño, cambios climáticos en la mencionada región mayormente se conoce dos estaciones que afectan más al pavimento como es el invierno que son los meses mayo a octubre se diferencia por noches frías época de heladas y verano son los meses noviembre a abril se diferencia por días soleados época de lluvias es por ello que el pavimento cambia su comportamiento de la estructura por la clima, materiales de construcción influye bastante el uso de materiales, estudio de suelos también es de vital importancia ya que los materiales deben cumplir con la normatividad exigida. Cada gobierno de turno pavimenta las mismas calles en su periodo no hay el interés de estudio del diseño de mezclas asfáltica en caliente con la incorporación de plástico reciclado. Todo lo mencionado anteriormente en nuestra investigación se incorpora el plástico para mejorar la durabilidad, resistencia y mejorar el comportamiento frente a los factores climatológicos.

En el departamento de puno se evidencio el problema antes mencionado motivo por el cual se realiza la investigación que titula: INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS.

La presente investigación consta de los siguientes capítulos:

CAPÍTULO I, se expone la descripción del problema de investigación, la formulación del problema de investigación, justificación pertinente, objetivos generales relevantes de la investigación, hipótesis, operacionalización de las variables.

CAPÍTULO II, se desarrolla los fundamentos teóricos, dentro de ellos esta los antecedentes relevantes para la investigación, desarrollo de las bases teóricas y definición de términos.

CAPÍTULO III, En el capítulo ya mencionado, se presenta la metodología de investigación, el contexto en el que se lleva a cabo dicha investigación, así como la población y la muestra.

CAPÍTULO IV, en este capítulo se analiza los resultados y la discusión, análisis y interpretación de resultados, examen de las hipótesis, debate sobre los hallazgos del estudio, conclusiones, sugerencias.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento del problema

1.1.2 A nivel internacional

En todo el mundo, la capa de rodadura en los pavimentos flexibles requiere una gran inversión en el mantenimiento de carreteras o en la aplicación de nuevo asfaltado en las vías de comunicación. Es por esta razón que se está investigando la posibilidad de incorporar plástico reciclado en la capa de rodadura. Hay varias investigaciones en estados unidos, México, Colombia que han utilizado el plástico reciclado en diferentes porcentajes, pero no han llegado al porcentaje óptimo de incorporación de PET.

1.1.3 A nivel nacional

A nivel de América latina se ha visto que en varios países existe capa de rodadura en mal estado que es un problema inminente que afrontan todos los países por ello el interés investigar la incorporación de plástico reciclado. En el Perú en la costa, sierra, selva se ve el desgaste de capa de rodadura que no tiene durabilidad ya que cada gobierno de turno pavimenta las mismas callas, avenidas, que no tienen durabilidad esto es un problema que aqueja a nuestro

país, regiones, provincias y distritos esto se debe a varios factores como el mal diseño, temperaturas altas y bajas, hidrología, geotecnia y entre otros factores.

1.1.4 A nivel local

En la región de puno se puede apreciar muchos de las capas de rodadura de las carreteras asfaltadas en diferentes lugares tienen problemas de durabilidad de los pavimentos diseñados convencionalmente estos problemas se deben a una serie de deficiencias como el diseño, material de empleo, estudio de suelos entre otros. Razón por la cual nuestro interés de investigar con la incorporación de plástico reciclado PET.

1.1.5 Análisis De La Situación Problemática

La infraestructura vial constituye un elemento fundamental para el desarrollo económico y social de la región de Puno, debido a que facilita el transporte de personas, bienes y servicios entre las diferentes provincias y distritos. Sin embargo, gran parte de las vías asfaltadas de la región de puno presentan un deterioro prematuro de la capa de rodadura, evidenciado fracturas en la superficie, aparición de grietas, perdida de agregado en la capa de rodadura, desprendimiento de los agregados, deformaciones en la capa de rodadura y aparición de superficies irregulares en su tiempo de servicio. Estas fallas afectan la transitabilidad, incrementan los costos de mantenimiento vial y reducen la seguridad de los usuarios. Se debe a diferentes factores, entre ellos las condiciones climáticas, caracterizadas por amplias variaciones de temperatura, ciclos de congelamiento, deshielo, precipitaciones pluviales, el diseño, material empleado y estudio de suelos.

Por otro lado, la creciente generación de residuos plásticos representa un problema ambiental significativo en la región de Puno. Una gran cantidad de

estos residuos terminan acumulándose en botaderos, generando contaminación y afectando los ecosistemas. Frente a esta problemática, el reciclaje y reaprovechamiento de materiales plásticos en obras de infraestructura vial surge como una alternativa sostenible que permitiría reducir el impacto ambiental y simultáneamente, mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema principal

P.G. ¿Cómo incide la incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas?

1.2.2 Problemas específicos

P.E.1. ¿Cómo determinar el diseño de mezcla asfáltica en caliente la estabilidad y flujo con la metodología Marshall incorporando pet de 1%, 2%, 3% para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera cabanillas?.

P.E.2. ¿Cuál es el porcentaje óptimo de incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas?

P.E.3. ¿Es viable la incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera cabanillas?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Teórico

Existen otros estudios previos que han abordado la cuestión de la integración de plástico reciclado de tipo PET en la composición del pavimento flexible de la carpeta asfáltica, aunque es importante señalar que dichas

investigaciones no se han llevado a cabo en el mismo contexto geográfico que el de nuestro estudio, porque no hay otro igual ya que en nuestra región de puno se puede ver que muchas pavimentos presentan problemas en la capa de rodadura puesto que es la primera capa que esta al intemperie del medio ambiente y el tránsito vehicular que no tienen la durabilidad suficiente es por ello que nuestra investigación tiene el interés de investigar al problema mencionado y dar la solución con la incorporación de plástico que es muy económico y sostenible.

Practico

Desde una perspectiva práctica, estamos contribuyendo a ofrecer una alternativa viable para abordar el inconveniente que presentan los pavimentos flexibles en la capa de rodadura mediante la integración de plástico reciclado, con el propósito de mejorar la durabilidad, resistencia a elevadas temperaturas, así como la rentabilidad económica y ambiental.

Metodológico

En el desarrollo de nuestro estudio, utilizando el enfoque cuantitativo y aplicando el método Marshall, se logra establecer de manera precisa el contenido óptimo de betún requerido para la mezcla de agregados, seguidamente el plástico reciclado con una composición granulometría determinada. Paro lo cual se prepara una serie de probetas en donde se realizan según la metodología especificada.

Ambiental

Desde el punto de vista ambiental estamos ayudando a reducir la contaminación del medio ambiente con la reutilización de plásticos reciclados PET ya que estos plásticos son desechados en cualquier lugar sin consideración

es por ello nuestro interés en utilizar el PET según nuestros antecedentes internacionales, nacionales y locales.

Económico

El PET que se utilizara en la investigación de esta tesis es totalmente económico, no hemos comprado para realizar la investigación solamente se ha reciclado los envases que han sido votados después de ser utilizados es totalmente económico y estamos ayudando al medio ambiente a reducir la contaminación.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivos generales

O.G. Evaluar la incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas.

1.4.2 Objetivos específicos

O.E.1. Determinar el diseño de mezcla asfáltica en caliente la estabilidad y flujo con la metodología Marshall incorporando pet de 1%, 2%, 3% para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera cabanillas.

O.E.2. Calcular el porcentaje óptimo de incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera cabanillas.

O.E.3. Analizar la viabilidad de la incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera cabanillas.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis general

H.G. La incorporación de plástico reciclado PET incide significativamente en el diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas.

1.5.2 1.5.2 Hipótesis específicas

H.E.1. El diseño de mezcla asfáltica en caliente se determinará con la metodología Marshall con porcentajes de 1%, 2%, 3% de pet en donde la estabilidad y flujo mejoraran.

H.E.2. El porcentaje óptimo de la incorporación de plástico reciclado PET mejora la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas.

H.E.3. La incorporación de plástico reciclado PET es viable por la mejora en las propiedades mecánicas de la capa de rodadura que son resistente a los cambios climáticos.

1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de variable

Variables	Dimensiones	Indicadores	Valoración
Variable independiente INCORPORACIÓN DE PLASTICO RECICLADO PET	Propiedades físicas	- Fusión - Densidad - Resistencia mecánica	°C g/cm3 Mpa
	- Tipo - Forma de plástico reciclado	- PET. - incorporación (triturado)	gr.
	- Porcentaje de incorporación de plástico PET - Adquisición	- Variabilidad del porcentaje 1%,2%,3% de PET - Costo - Presentación	% Sin costo Pet triturado.
	Tamaño de partícula	PET Triturado	Mm
Variable dependiente DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	Propiedades Físicas	- Volumen de vacíos - Contenido de cemento asfaltico - Vacíos llenos de cemento asfaltico (VFA) - Vacíos llenos de agregado mineral (VMA).	% % % %
	Propiedades Mecánicas	- Flujo - Estabilidad - Rigidez - Peso unitario	Mm Kg Kg/cm Kg/cm3
Variable interviniente AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS	Propiedades físicas de los Agregados	- Desgaste - Densidad - Peso especifico - Sales solubles totales - Absorción - Equivalente de arena	% Gr/cm3 Gr/cm3 Ppm % %

Nota. En la tabla se muestra la operacionalización de las variables independiente, dependiente y interviniente.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

2.1.1. A nivel internacional

El desecho de plástico en particular es utilizado el producto una sola vez en diferentes usos, en todo el planeta es el más utilizado ya que es un riesgo y por ello afecta negativamente cada vez con más intensidad para lo cual requiere una mitigación efectiva al problema. Cuando se incorpora el residuo termoplástico en los concretos asfalticos en mezclas calientes creara alternativas en la utilización por segunda vez el plástico antes que sean desechados en las calles. En este estudio, se persigue primordialmente la incorporación del asfalto alterado en la creación de la mezcla asfáltica siguiendo el método Marshall. Así, se realiza un minucioso análisis de las particularidades de los asfaltos en caliente, teniendo en cuenta la incorporación de plásticos reciclados (ACP) en la composición del asfalto. La táctica adoptada fue la táctica sugerida por el ingeniero Marshall para concebir y fabricar la mezcla asfáltica en estado sólido, donde el plástico se fusiona meticulosamente con los componentes pétreos a temperaturas extremas. En esta investigación se empleó dos tipos de plástico uno es el plástico mixto y plásticos multicapas. Se determino los parámetros de relaciones entre el aglutinante - plástico con las siglas (PBR), la adición tiene

etapa adicional al diseño Marshall convencional esto tiene por objetivo adicionar adecuadamente la cantidad optima de plástico reciclado y el asfalto requerido en el diseño. Por otro lado, se realizaron varias pruebas completas en el laboratorio los resultados se han comparado los diseños de concreto asfaltico convencional (AC) y modificado (ACP) para verificar las diferencias. Realizado el diseño se ha obtenido el aglutinante optimo es 5.7%, flujo 16.1, estabilidad 1445 kg, et optimo es 2.35. En conclusión, la investigación enmarca que adicionar plástico reciclado al AC para transformarlo en ACP puede mejorar sus propiedades de los materiales. (Peerapong, Korakod, Wat, & Ghim, 2023, pág. 1)

El exceso acumulación de residuos sólidos de plásticos donde hace mucha falta la responsabilidad de emplear una metodología amigable respecto a su valorización convertido impacto negativo que necesita contrarrestar el impacto. Al añadir plásticos reciclados a la mezcla asfáltica en caliente, se vislumbra de manera nítida su impacto y ventaja en la reutilización del PET, un material abundante y esencial para reciclar para mantener la armonía ecológica. En el transcurso de este estudio, se lleva a cabo un minucioso estudio de las características mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, conocidas como MDC-19, una mezcla densa en caliente de 19 mm, aplicando una proporción del 5% del volumen total. La técnica consiste en añadir entre un 7.5% y un 10% de PET reciclado en la mezcla, utilizando la técnica de adición húmeda durante el desarrollo. Este meticuloso análisis ha desentrañado con exactitud la solidez, el flujo y la existencia de vacíos en el material, además de su inclinación hacia la humedad. A medida que se incrementa la concentración de PET, el material pierde su firmeza y se vuelve más vulnerable a la humedad. Esto conlleva la proliferación de espacios vacíos, alterando así la danza del material. Al finalizar

la investigación, se ha constatado que al añadir un 5% de plástico reciclado PET a la mezcla asfáltica modificada, se logró una estabilidad de 1438 kilogramos-fuerza y una susceptibilidad a la humedad del 76.4%, lo que representa un margen de variación entre el 93% y el 97% en comparación con la mezcla tradicional. Los hallazgos del estudio revelan con nitidez la enorme oportunidad que se abre al incorporar desechos plásticos en lugar del asfalto convencional, lo cual confirma de manera inequívoca que estos desechos son verdaderamente beneficiosos. Asimismo, esta estrategia contribuye de manera eficiente a disminuir y minimizar la polución ecológica, un aspecto vital en la actualidad. (Garzón, Lopera , & Chica , 2019, pág. 1)

Con referencia al problema, ha habido varias propuestas en estos años en la ingeniería todas las propuestas tienen el interés que se han utilizados los plásticos PET que son generados por la población como un material de construcción. En este estudio de fin de carrera, se sugiere la posibilidad de incorporar el tereftalato de polietileno (PET) y el polipropileno (PP) reciclados como ingredientes en la composición del asfalto en la zona guatemalteca para materializar el proyecto. Por lo tanto, el estudio se siente motivado a realizar experimentos con la combinación alterada de polipropileno y tereftalato de polietileno, en contraste con la tradicional. Para llevar a cabo la investigación, se adoptó la metodología de Marshall para examinar minuciosamente las dos combinaciones habituales, la primera sin modificaciones y la segunda ajustada con exactitud milimétrica. Los porcentajes de PET y PP se calcularon en función del peso total del material añadido. A continuación, se ejecuta el diseño Marshall, donde se determinó que el cemento asfáltico ideal es del 4%. El propósito era elevar la estabilidad de las dos mezclas alteradas, y se descubrió que agregar

un 1.5% de PET resultó en resultados más prometedores. En cuanto a la economía, resulta imposible realizar la totalidad del diseño de mezclas, por lo que se ha optado por la mezcla modificada de PET en un 1.5%. En el ensayo la tenacidad de los asfaltos, los datos del ensayo de rueda de Hamburgo son confrontados con los hallazgos de la mezcla tradicional. Este ensayo comparativo es crucial para evaluar la efectividad y longevidad de las diversas mezclas de asfalto bajo la presión cíclica. Al realizar los experimentos adecuados, se detectó una deformación mínima tras realizar 20,000 ciclos con una concentración del 1.5% de polietileno tereftalato (PET). (Rueda, 2023, pág. 13)

2.1.2. A nivel nacional

El árido de tamaño grueso procedente de la cantera de materiales Pancho M. por otro lado tenemos el árido fino de las canteras de Carbonera han cumplido con la exigencia establecida en las normas del MTC, Previamente, Se ha empleado como base para crear la mezcla asfáltica en caliente de tipo 2, concebida con precisión para resistir trayectos de tráfico de rango medio a elevado. Para crear mezclas asfálticas tradicionales y las que incorporan aditivos, se empleó el método Marshall, verificando que ambos diseños se compuestos con un 60% de arena y un 40% de grava, y se determinó que el asfalto ideal es del 5.40% PEN 60/70. La muestra prototipo fue seleccionada meticulosamente y examinada con el método Marshall, resultando en un valor ponderado de 1273 kilogramos, revelando así la excelencia y solidez del material analizado. En cuanto a la adición de 1,5%, 3% y 4,5% del plástico reciclado PET obtuvimos valores que aumentaron 618Kg, 367 kg y 191 kg, con la adición que se trabajó. Seguidamente de igual forma la muestra patrón tiene un flujo

ponderado de 12.8 mm al adicionar 1.55,3%, 4.5% el aumento fue de 0.9mm, 1.6mm, 3.1mm. Por otro lado, tenemos el porcentaje de vacíos que se obtuvieron de la muestra patrón resulto un ponderado de 4.2% al incorporar 1.5%, 3%, 4.5% se obtuvo incremento de valores como 0,4%, 0,7% y 1,5%, correspondientemente. Para el analizar estadísticamente se ha utilizado el ANOVA en donde determina cuando se adiciona el plástico reciclado PET con las siguientes proporciones de 1.5%, 3%, 4.5% se evidencia mejoras significantes de la propiedad mecánica en la mezcla asfáltica par los pavimentos ecológicos. En cuanto a la adición de un 3% de PET, los datos obtenidos están según a la normativa del ministerio de transportes y comunicaciones. (Kendy, Martínez, & Temple, 2024, pág. 122)

El objetivo del presente trabajo es el diseño de la MAC modificado con plástico reciclado, el diseño se realiza para un tránsito mediano evaluar cómo influye el PET con las exigencias paramétricas de la metodología Marshall por consiguiente se ha elaborado varios especímenes escalonados que varían en proporciones con referente al contenido de 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6%. El estudio revela que la proporción ideal de cemento asfáltico es del 5.8%. Más adelante, se incorporaron porcentajes extra de 1%, 3%, 5% y 7%. Se crearon 105 briquetas cilíndricas para la investigación. Los especímenes seleccionados han sido sometidos a un meticuloso ensayo de Marshall, permitiendo desentrañar minuciosamente sus peculiaridades mecánicas y físicas. Este análisis es crucial para asegurar la excelencia y robustez de los materiales empleados en la edificación de caminos. El análisis revela que el 1% ideal de tereftalato de polipropileno se presenta con diminutas escamas. Este procedimiento se ha ejecutado en función del peso total de los áridos, elevando así la solidez de la

mezcla asfáltica alterada. En cuanto a los demás criterios establecidos por la normativa, todos están en armonía con la MTC EG-2013, salvo una diminuta alteración en el flujo. El minucioso ensayo económico reveló un impresionante 93.791% en el ensayo de MAC modificado, revelando una asombrosa capacidad de resistencia a la humedad del material analizado. Este hecho es crucial para desentrañar la longevidad y efectividad del producto bajo cualquier circunstancia. (Angulo , 2024, pág. 11)

El trabajo de la investigación tiene la finalidad de mejorar el cemento asfaltico en caliente modificado con plastomero – polímero empleado por vía seca. En esta investigación se utilizó polímero conocido PET polietileno tereftalato, la botella plástico se obtuvo de una acopiadora de plástico reciclado y en el mismo lugar se hizo realizar el picado en una trituradora. La idea de utilizar polietileno tereftalato reciclado surge que el planeta tierra tiene problema del medio ambiente con ala contaminación de plásticos y es más sigue abundando los pasticos por más que hay recicladores se ve insuficiente para minimizar la contaminación de residuos sólidos. En este estudio, se ha utilizado la metodología Marshall, célebre por su habilidad para determinar el contenido ideal de cemento asfáltico en la mezcla tradicional. Posteriormente, se ha modificado el diseño incorporando fibras de PET, que han sido empleados para reemplazar al fino y polvoriento material. Este minucioso ajuste ha sido realizado con precisión milimétrica para lograr la dosis ideal de PET en la mezcla final. A continuación, se ha llevado a cabo el experimento de Rueda Cargada de Hamburgo para medir el ahuellamiento y la capacidad de resistir la humedad de los materiales. Este método es crucial para evaluar la longevidad y la excelencia de los asfaltos, pues simula las condiciones a las que se enfrentarán en su

aplicación cotidiana. Este examen de desempeño permite desentrañar el comportamiento del diseño de la mezcla sin necesidad de utilizar un método específico. En este trabajo se ha Adicionado el ensayo Lottman modificada tracción y humedad inducida, módulo de resiliencia para determinar la rigidez bajo carga. Para finalizar se analizó todo el parámetro del método Marshall para conocer la incorporación de PET y por otro lado reciclar el PET para utilizar nuevamente en la carpeta asfáltica los cuales no son empleadas en el país. (CORBACHO, 2019, pág. 15)

2.1.3. A nivel local

En esta exploración, se busca desentrañar minuciosamente cómo las fibras de polietileno derivadas de botellas de plástico reciclado influyen en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas empleadas en la pavimentación. Asimismo, se han delineado metas cruciales que orientarán la investigación con precisión y eficacia. En el transcurso de este estudio, se adopta la metodología sugerida por Marshall, una metodología caracterizada por su meticulosidad y un enfoque minucioso en la recolección y interpretación de información. Este método, casi experimental, facilita la creación de vínculos causales de gran confiabilidad, elevando así la credibilidad de los hallazgos alcanzados. La investigación se desarrolló conforme a un riguroso protocolo: en un principio, se tomaron muestras de la cantera Piedra Azul, situada en el kilómetro 10+000 de Juliaca, en el punto de partida hacia Arequipa. El propósito de esta recolección fue llevar a cabo un minucioso escrutinio de los agregados en el laboratorio para verificar si cumplen con las normas de calidad establecidas, además de verificar la correcta mezcla y gradación de los áridos citados. En el laboratorio se realizó la creación tradicional de las briquetas,

empleando índices de PEN de 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7%. Tras llevar a cabo las pruebas pertinentes, se determinó que el cemento asfáltico ideal se sitúa en un 6.13% (PEN 120-150). A continuación, se llevó a cabo la creación de la mezcla asfáltica de Marshall, la cual fue enriquecida con los siguientes porcentajes: 5.5%, 6%, 6.5%, 7%, 7.5% y 8% de PET. Al llevar a cabo el estudio adecuado, se determinó que el porcentaje ideal de plástico reciclado a incluir es del 6.57% de PET. Al concluir un minucioso estudio, se determina que la incorporación de fibras de PET reciclado en la elaboración de mezclas asfalticas en caliente induce una notable optimización en las características físicas y mecánicas del asfalto. (Gallegos, 2023, pág. 9)

La presente investigación es para solucionar los problemas que existen en el departamento de puno, se puede visualizar que los botaderos en campos abiertos contaminan al medio ambiente negativamente. Esto ocurre cuando hay una combinación entre el desecho inorgánico y orgánico. Este minucioso análisis busca desentrañar las particularidades y atributos únicos del concreto asfáltico tradicional, contrastándolo con el concreto asfáltico enriquecido con tereftalato de polietileno y múltiples polímeros adicionales. Este proceso se materializará a través de la incorporación de minerales recolectados de la mina Cabanilla, situada en el corazón del norte de la nación, situada en el departamento de Puno, a lo largo del 2022. Tras la evaluación del porcentaje de vacío, se examinó la estabilidad y el flujo en cada muestra analizada. Se llevaron a cabo tres ensayos del patrón y luego se integró el polímero en el proceso. Esta investigación se fundamenta en técnicas cuantitativas, enfoque experimental, nivel de estudio y carácter aplicado. Estas técnicas son esenciales para asegurar que los hallazgos del estudio sean válidos y confiables. El método cuantitativo facilita la captura y

interpretación de cifras, mientras que el enfoque experimental simplifica la manipulación de variables para desentrañar vínculos causales. El grado de indagación define la profundidad y extensión del análisis, mientras que el enfoque aplicado se centra en la puesta en práctica de los descubrimientos en contextos concretos. Estas metodologías constituyen un bastión robusto para realizar una indagación meticulosa y profunda. Resulta que el porcentaje de vacío en el diseño de mezcla convencional es del 3.56%. Al incorporar el PET en dosis de 2.00%, 4.00% y 8.00%, se detectan transformaciones notables en las características del material. Al incorporar el PET+SBS, se logró un rendimiento del 3.77%, 4.16% y 5.27%, y ahora se encuentra en un intervalo del 3.75%, 4.12% y 5.15%. En la mezcla tradicional, el torrente se eleva a 1287.30 kilogramos y se extiende a 12.93 milímetros. A través de la mezcla de polietilentereftalato al 2.00%, 4.00% y 8.00%, conseguimos un diámetro de 12.67mm, 13.27mm y 16.33mm, y una resistencia de 1235.21 kg, 1308.64 kg y 1326.09 kg, respectivamente. Al mezclar PET con estireno-butadieno-estireno en dosis del 2.00%, 4.00% y 8.00%, se percibe un flujo de 12.53mm, 13.20mm y 16.00mm, con una resistencia de 1289.53 kg, 1314.49 kg y 1330.20 kg. La investigación concluye con un 4.5% de PET y PET+SBS, y se verifica minuciosamente que los descubrimientos corresponden a las normativas y regulaciones actuales en el ámbito correspondiente. (Vilca & Mestas, 2023, pág. 19)

2.2. BASES TEÓRICAS

Origen y evolución del pavimento flexible

Desde hace mucho tiempo el hombre busca como movilizarse de un lugar a otro o intercambiar sus productos. En donde sus caminos llegan a ser con alto

índice de transpirabilidad entonces empezaron a mejorar como la superficie, ancho, pontones, paso de agua. Hay un gran cambio con la aparición de vehículos donde ya requiere un gran cambio de estructura para el soporte de vehículos. (Menendez, 2009, pág. 9)

El asfalto se ha utilizado por primera vez en los años de 1885 que servía como la capa protectora de la parte superior. (Menendez, 2009, pág. 9)

Variable 1

Incorporación

La incorporación es la adición de tereftalato de polipropileno al diseño de mezcla asfáltica en caliente como también puede ser aditivos u otros tipos de plásticos.

Plástico reciclado pet (tereftalato de polietileno)

El plástico es más utilizado a nivel mundial para la comercialización de envases para bebidas el nombre que tiene es (tereftalato de polietileno) más conocido por como PET, es transformado por los siguientes procesos: extrusión, termoformado, inyección soplado e inyección. Tereftalato de polietileno tiene los siguientes componentes: dureza, transparencia que son muy resistentes a los desgastes, impactos, fuego y rupturas (Cabrejos y Vigo, 2022).

Se puede apreciar que el pet tiene una capacidad para reciclarlo en diferentes usos ya sean comerciales, decorativos, reutilización, entre otros. Posee buena característica el PET cuando se cristaliza logra mayor resistencia térmica en el enfriamiento cuando esta endurece. Las propiedades que posee: mayor resistencia a la corrosión y desgaste, gran dureza y excelente rigidez, tiene buena resistencia al esfuerzo permanente, es 100% reciclable, mínima cantidad de humedad, consistencia térmica y química.

Tabla 2

Características técnicas del PET.

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm3	1.34-1,39
Resistencia a la tensión	Mpa	59-72
Resistencia a la compresidn	Mpa	76-128
Resistencia al impacto, Izod	J/mm	0,01 -0.04
Dureza	—	Rockwell M94 - M101
Limite eldstico	%	50-150
Dilatacibn térmica	10-^{4} /ºc	15,2-24
Resistencia al calor	°C	80-120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780 – 15750
Constante dielectrica (60 Hz)	—	3,65
Absorcibn de agua (24 horas)	%	0,02
Velocidad de combustión	Mm/ mim	Consumo lento
Efecto luz solar	_	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	—	Excelente
Cahdad óptica	—	Transparente a opaco
Temperatura de fusión	°C	244 – 254

Nota. La tabla muestra las propiedades del Tereftalato de polietileno, Lokensgard (2015)

Diseño de mezcla asfáltica

El diseño de mezcla asfáltica tiene el objeto de proporcionar el equilibrio de las propiedades de economía y ingeniería donde debe garantizar que los

pavimentos sean resistentes, duraderos en la vida útil, que satisfagan a los propietarios y usuarios que utilizan las vías cuando entran en serviciabilidad las estructuras construidas. En el diseño tener bastante cuidado en la consideración de funciones prevista para la pavimentación como la ubicación de la estructura para su aplicación de la mezcla asfáltica. Se deben emplear en capas en la superficie que es muy conveniente la colocación de la mezcla asfáltica esto implica que las capas serán diferentes de intermedias e inferiores, en todo caso cada capa es muy diferente de los demás. (Asphalt Institute, 2014, pág. 5)

En la actualidad el esbozo de mezcla asfáltica deja de lograr el diseño adecuado de sus propiedades volumétricas adecuadamente para su colocación en la capa de rodadura ya concluida, lo mencionado es dependiente de la superficie de rodadura esto influye y prolonga en su vida útil de la estructura pavimento. Por ello la importancia de realizar con mucho cuidado y técnica en laboratorio de asfalto porque de ahí empieza las dosificaciones en campo por consiguiente todo empieza en laboratorio, el peso vehicular implica en la resistencia de la capa de rodadura a altos tráficos vehiculares para su mejor comportamiento de las capas y llegar a la fórmula idóneo para trabajar, estos que tengan comportamiento adecuado bajo condiciones de clima y tránsito. (Tapia, 2010, pág. 56)

Variable 2

Capa de rodadura

La superficie final que se entrelaza con el tráfico motorizado es la capa de rodadura. Está fabricada con materiales de excelencia, asegurando así su longevidad ante el incesante esfuerzo diario. Estos materiales poseen características de fortaleza frente a la fricción, capacidad de drenaje, regulación

del sonido, presencia de surcos, suavidad al tacto y capacidad de deformarse. Asimismo, este artilugio actúa como un sistema de impresión que orquesta y modera el flujo de agua hacia la superficie de rodadura, así como hacia las capas subterráneas y los pilares de la estructura. La capa final se puede colocar en cualquier rincón donde el agua no pueda infiltrarse. (Napa, 2001, pág. 2)

Este manto de asfalto, conocido también como carpeta asfáltica, posee la habilidad de aguantar sin tropiezos la carga de camiones, volquetes y demás vehículos pesados. Esta capa de asfalto se extiende entre 40 y 75 milímetros, y se compone de una mezcla de arena fresca, arena triturada, piedra chancada, filler y cemento Portland. Con referencia a las capas de rodadura deben de tener el asfalto optimo requerido según al diseño para resistir al agua, tráfico, luz solar y aire. Esta mezcla se realiza utilizando agregados de tamaño máximo de 19 milímetros para la capa de rodadura; este tamaño de agregado no produce un estruendo desmedido durante el movimiento. Si optamos por agregados mayores a 19mm, esto podría entorpecer la creación de una mezcla perfecta entre el agregado y el cemento asfáltico, ya que el betún no se adhiere adecuadamente al cemento. La ausencia de adherencia puede mermar la longevidad de la capa de rodadura, mermando así la excelencia y robustez del suelo. Cuando se utiliza los tamaños menores de agregado requieren menor cantidad de betún, esto indica que al utilizar tamaños menores no se van a utilizar mayores cantidades de betún para la capa de rodadura, ya que esto sería económicamente positivo minimizando gastos en la adquisición de bitúmenes en mínimas cantidades. (Pedersen, 2011, pág. 5)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Definición de términos básicos

Asfalto:

Cuando nos referimos al asfalto es un material que este compuesto por ingredientes adicionales como el betún con la adición de material granular como son grava y arena que es conocido como asfalto. Por consiguiente, el betún es el ingrediente fundamental esto trabaja con los agregados, la influencia es indudable que es de suma importancia del comportamiento para la formación del asfalto, primeramente, se debe estudiar cerca del betún, cuáles son sus propiedades del que tiene que son muy empleados en los pavimentos. Con referencia al betún este aglutinante es el derivado del petróleo se consigue con la destilación del crudo pesado y las propiedades del betún son totalmente importantes para comprender el asfalto. (Thom, 2008, pág. 136)

Briquetas:

Las briquetas son moldes de tamaños menores con respecto al concreto que son utilizados para el ensayo Marshall en laboratorio sus dimensiones son 10 mm de diámetro y 63.5 mm de altura.

Pavimento flexible

La capa de rodadura, esencial en la edificación de carreteras, consiste en una o varias capas de mezcla asfáltica que descansan sobre los materiales de subrasante, subbase o base sueltos, adaptables según el tipo de terreno donde se proyecta la ruta.

Capas del pavimento flexible

Betumen o cemento asfaltico.

El betún es un aglutinante viscoso, parecido al aglutinante hidráulico y como al cemento portland, de ambos sus propiedades son relativamente deferentes en temperaturas y lo demás, en los aglutinantes hidráulicos podemos crear materiales rígidos que no son deformables a una vista simple pero se puede agrietar con fisuras, mientras el betún permanecerá parecido a un líquido viscoso a temperatura ambiente en su vida útil. Esto nos indica que el betún es capaz de fluir, para iniciar la contracción y expansión esto ocurre por la variación de temperatura noche – día se mueve un poco a esto conocemos como la deformación en los asfaltos, estas estructuras no requieren juntas de dilatación estas deformaciones se mueven de acuerdo a la temperatura y más aún en temperaturas extremas en desiertos, inviernos y en diferentes estaciones. (Thom, 2008, pág. 7)

Agregado

El agregado es conocido también como roca que es un agregado mineral y material granular, que es un material inerte e duro son utilizados como fragmentos o partículas bien graduado para la construcción de infraestructuras viales con asfalto caliente, estos agregados son piedra triturada, polvo de roca, escoria, grava, arena y pueden ser canto rodado o manufacturado. (Highway, 1982, pág. 36)

Agregado fino

Son materiales granulares que están constituidas por pequeñas partículas de minerales estos pueden ser procesadas o naturales que se encuentran en los

ríos se acumulan gracias a la erosión del agua donde se sedimentan, pasan el tamiz N° 4 y son retenidas por el tramiz N° 200.

Propiedades del agregado fino

El agregado fino posee una variedad de atributos esenciales para su empleo en múltiples aplicaciones. La gravedad específica, la forma, la textura, la absorción de agua y la granulometría son algunas de las características más destacadas. Estos factores son cruciales al valorar la excelencia y el rendimiento del agregado fino en diversas escenarios de edificación. Estos componentes deben poseer una robustez estructural robusta y una longevidad inigualable; es crucial que el agregado fino sea completamente libre de arcilla y materia orgánica para asegurar su idoneidad en las aplicaciones propuestas.

Agregado grueso

Son agregados inertes minerales de canto rodado o naturales también pueden ser de piedra chancada el tamaño es mayor a 4.75mm. Se emplea para infraestructura vial para que tenga resistencia mecánica y una estabilidad adecuada. (Neville, 2013)

Piedra chancada

La piedra chancada, también conocida como piedra triturada, es un agregado moldeado obtenido mediante la trituración de piedras en una planta de trituración. Estas piedras trituradas se someten a una danza de tamizado y clasificación, buscando el tamaño y la excelencia necesarios para su empleo en múltiples aplicaciones. Se conoce que existe dos fuentes para procesar los agregados: fragmentación de las rocas madres como también las piedras donde se reducen el tamaño para utilizar, y otra grava natural se tritura para reducir de tamaños según a las especificaciones en el pavimento. Las rocas son trituradas

por tres razones de forma: uno cambiar las superficies de los agregados de lisas a rugosas, dos cambiar las partículas de forma redondeada a angular, tres mejorar y reducir la gradación y distribución. Por otro lado, la fragmentación de piedra grande y roca madre, el objetivo primordial es triturar para reducir los tamaños gigantes de la roca para que sean manejables. Es crucial transformar las texturas, superficies y formas de los agregados, pues esto es vital para su aplicación en la pavimentación de las carreteras. (Highway, 1982, pág. 37)

Arena natural

Los minerales naturales, extraídos de ríos, canteras o minas, se utilizan en su estado puro, sin intervenciones adicionales. Este tipo de materiales, sacados de la madre naturaleza, son esenciales para edificar múltiples edificaciones, brindando robustez y longevidad a sus cimientos. Se recolectan de ríos, vientos o glaciares y se emplean directamente, sin necesidad de ningún tratamiento adicional, para crear mezclas asfalticas. Los dos ingredientes naturales más habituales en la elaboración de las mezclas asfalticas son la grava y la arena. Estos componentes son esenciales para asegurar la robustez y longevidad de los asfaltos. En particular, los depósitos eólicos, compuestos mayoritariamente por partículas redondeadas, pueden ayudar a la movilidad del suelo, aunque también pueden mermar la fortaleza de la mezcla frente a la deformación perpetua.

Áridos procesados

Los áridos procesados han sido extraídos, triturados y tamizados en preparación para su uso. Estos áridos se procesan para alcanzar ciertas características de rendimiento del asfalto fabricado. Es crucial disponer de áridos triturados en forma cúbica y con aristas angulares para alcanzar una mezcla

asfáltica de excelencia. Estas características aseguran una robustez y longevidad en el asfalto, prolongando así la longevidad del camino. Las diminutas partículas, ya sean planas, alargadas o ambas, por su forma y tamaño, poseen la habilidad de alterar la composición y, en consecuencia, el rendimiento de una mezcla asfáltica.

Áridos manufacturados

Los áridos manufacturados pueden ser subproductos de un proceso industrial, como la escoria industrial, la bauxita calcinada, o productos obtenidos y procesados específicamente para su uso como áridos (por ejemplo, asfalto recuperado, árido de hormigón reciclado). (Southern African Bitumen Association, 2014, pág. 4)

Los agregados naturales

Los agregados naturales son utilizados de manera natural con o sin ningún tipo de procesamiento, estos materiales están constituidos de partículas se producen de forma natural por degradación, erosión, de forma eólico, el agua, químicos, con el movimiento de hielo. Todas estas partículas individualmente tienen la forma redondeada esto se debe a los agentes que están en la naturaleza cambiando de manera constante. Un claro ejemplo se puede ver en los glaciares que las piedras son redondeadas esto es la acción de hielos y nevada sobres las rocas de la misma forma ocurrí con la corriente del agua las rocas se vuelven totalmente redondas en los causes de agua de igual forma en los ríos estos agregados son retenidos en aguas abajo. (Highway, 1982, pág. 37)

Arena chancada

Son los áridos manufacturados en una planta de chancadora de agregados esto se realiza para manejar mejor la arena y obtener según la necesidad de las obras civiles.

Tamaño o granulometría de los áridos

El tamaño y reparto de las partículas, denominado granulometría, debe ajustarse para garantizar la capacidad de carga en los asfaltos. Es crucial elegir meticulosamente los ingredientes para crear la mezcla, ajustándose a la capacidad de carga demandada. (Copeland & Willis , 2019, pág. 35)

Fellir

El fellir conocido también como un material de relleno se utiliza como partículas de limo esto se agrega a la mezcla del bitumen que trabaja para ayudar a mejorar y extender el rendimiento del betumen. Se considera el fellir para que ayude al bitumen más que un agregado y tiene el objetivo de fortalecer el betún y endurecer el asfalto. (Thom, 2008, pág. 142)

Diseño de mezcla asfáltica

Propiedades Volumétricas de las mezclas compactadas

Las características volumétricas de la mezcla asfáltica en caliente compactada son resultado de la mezcla de agregados tanto gruesos como finos, el asfalto y los vacíos de aire que habitan en la estructura. Estos elementos son esenciales para garantizar la excelencia y longevidad del asfalto. La armonía entre masa, volumen y peso específico es crucial para la creación de la mezcla asfáltica en caliente, pues estos factores son esenciales para la excelencia y longevidad del asfalto. Es crucial sopesar minuciosamente cada uno de estos elementos para asegurar una obra maestra en la edificación de caminos y

asfaltos. Dado que es un desafío precisar los volúmenes específicos de los elementos compactados en el entorno del ensayo de diseño, se opta por la medición de la masa en función del volumen como alternativa.

$$M = V.G\rho w$$

Donde:

M= Masa de componentes

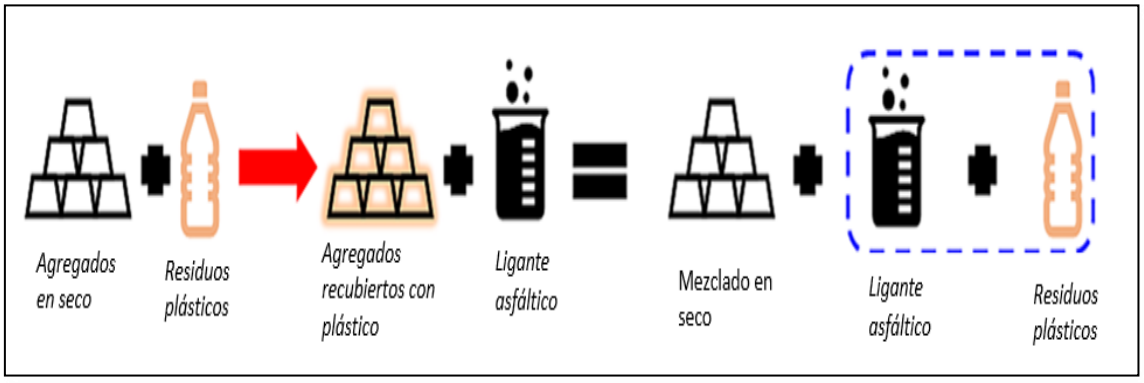
V= Volumen de componentes

G= Peso específico del componente

ρ_w= Densidad del agua ($1.0\frac{gr}{cm3}$)

Figura 1

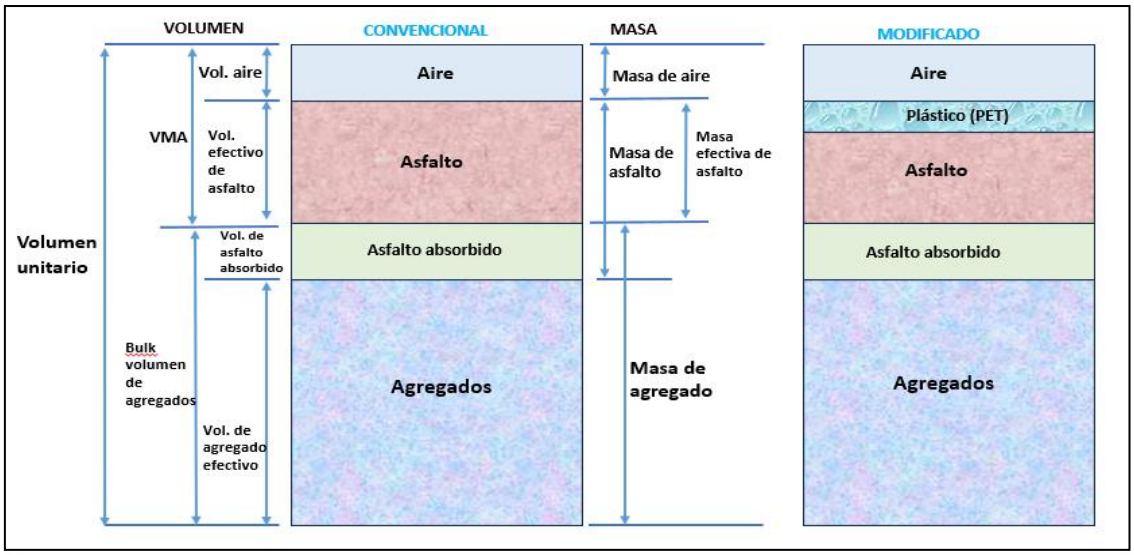
La primera suposición del diseño de mezcla Marshall.



Nota. Esta figura muestra la suposición que se va realizar en la presente investigación (Peerapong, Korakod, Wat, & Ghim, 2023, pág. 9)

Figura 2

Diagrama de fases masa – volumen en la mezcla asfáltica (diseño de mezcla Marshall convencional y modificado).



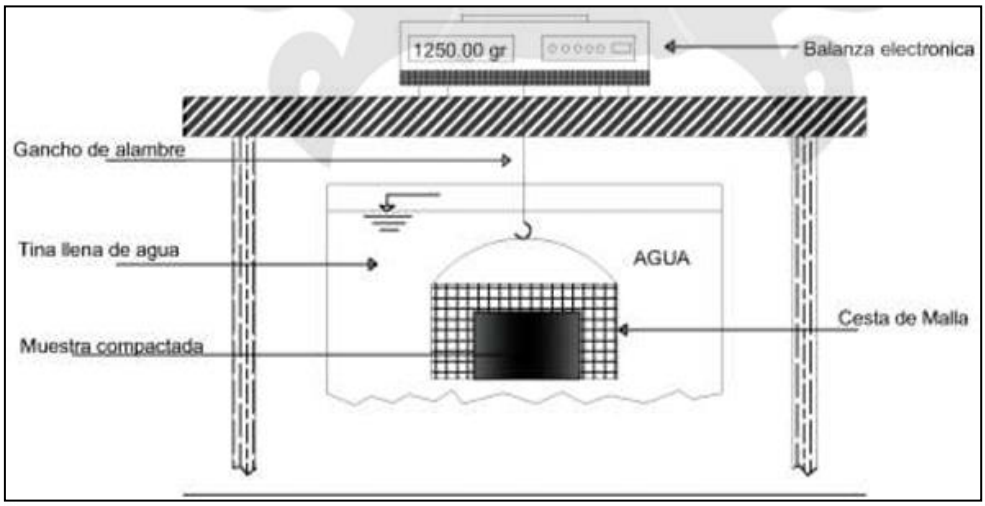
Nota. La figura muestra el diagrama de fases de masa - volumen en un deseño de mezcla asfáltica que es elaboración propia, basada en (Peerapong, Korakod, Wat, & Ghim, 2023, pág. 9)

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA(G_{mb})

La realización de este ensayo se debe al peso de aire del espécimen compactado y se después se pesa sumergido y luego superficialmente seca. Todo ello se realiza según la norma ASSTHO T- 166.

Figura 3

Ensayo de gravedad especifica bulk de la mezcla compactada.



Nota. En la figura 3 se aprecia el ensayo de gravedad especifica bulk de la mezcla compactada(gmb).

GRAVEDAD ESPECIFIAC BULK DE LA COMBINACION DE AGREGADOS (G_{sb})

Al realizar ensayos con diversos agregados, tales como el grueso, el fino, el fellir y el asfalto, cada uno revela una gravedad única. Así pues, determinamos la gravedad aparente de la mezcla de materiales de esta forma.

$$G = \frac{P_{1+}P_2 + \cdots \ldots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \cdots \ldots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

G Gravedad especifica promedio

G_1 , G_2 ……..,G_n valores de gravedad especifica por fracción 1,2,…….,n

P_1, P_2,…….P_n Porcentaje en pesos de la fracción 1,2,……..,n

GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA DEL AGREGADO (G_{se})

El ensayo de gravedad especifica efectiva del agregado se realiza relacionado con la gravedad especifica teórica máxima de la mescla asfáltica (G_{mm}), cuando realizamos la determinación de gravedad especifica del agregado se incluyen los vacíos determinados en los agregados de sus partículas solo no se incluye cuando son absorbidos por el asfalto.

$$G_{se}\frac{P_{mm}-P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}}-\frac{P_b}{G_b}}=\frac{1-P_b}{\frac{1}{G_{mm}}-\frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{se} = Gravedad especifica efectiva del agregado

G_b= gravedad especifica de mezcla.

G_{mm} = Gravedad especifica teórica máxima de la mezcla

P_b = % de asfalto de la masa total de mezcla.

P_{mm} = Porcentaje en masa de mezcla suelta total.

PESO ESPECIFICO TEORICO MAXIMO ASFALTICO PARA PAVIEMNTOS (RICE)

Al llevar a cabo este ensayo, se examinan las muestras de mezclas asfálticas no compactadas (sueltas).

$$G_{mm}=\frac{A}{A-B}$$

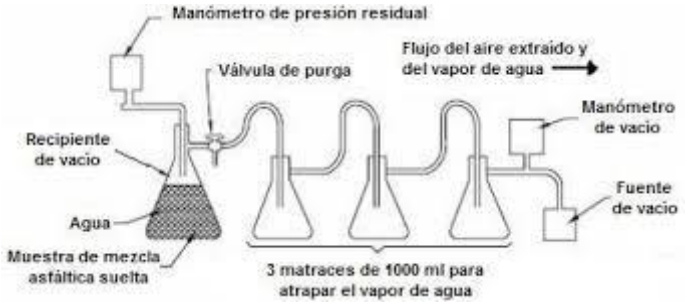
Donde:

A= Peso al aire de la muestra en gramos

B= Peso en el agua de la muestra también en gramos.

Figura 4

Esquema para determinar gravedad especifica máxima de la mezcla asfáltica.



Nota. En la figura 4 se muestra un esquema practico de determinación de la gravedad especifica máxima en una mezcla asfáltica.

CONTENIDO DE ASFALTO (P_b)

Se refiere al contenido total de asfalto se determina por volumen y también por su peso. Ya que también la cantidad de asfalto que ha sido absorbido por los agregados.

$$P_{b} = 100\left[\frac{M_b}{M_s * M_b}\right]$$

Donde:

P_b = Contenido de asfalto en % del peso total

M_s= Peso de asfalto del espécimen

M_b = Peso de agregado en el espécimen

PORCENTAJE DE ASFALTO ABSORBIDO (P_{ba})

El porcentaje de asfalto absorbido por el agregado expresado en porcentajes según el peso del agregado, existen agregados que son muy absorbentes no se puede utilizar por cuestiones económicas.

$$P_{ba} = \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} * G_{se}} * G_b * 100$$

Donde:

P_{ba}= Porcentaje de asfalto absorbido por peso del agregado.

G_b= Gravedad especifica del cemento asfaltico.

G_{se}= Gravedad especifica efectiva del agregado.

G_{sb}= Gravedad especifica Bulk del agregado.

PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (P_{be})

La totalidad de asfalto en la mezcla asfáltica, sin contar con el asfalto absorbido por el agregado, forma la película que envuelve la superficie externa de ese material de piedra.

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} * P_s}{100}$$

Donde:

P_{be}= Es el contenido de asfalto efectivo

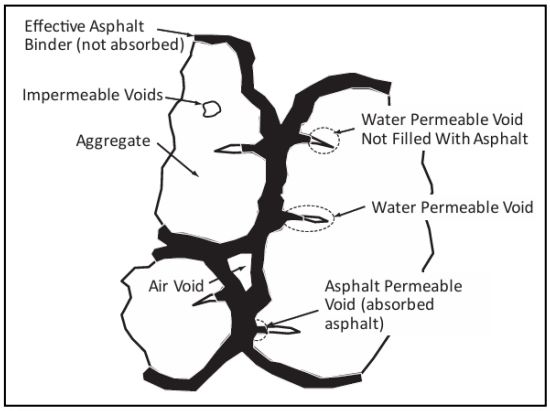
P_{ba}=Porcentaje por peso del agregado = asfalto absorbido.

P_s= Porcentaje por peso total de mezcla = Contenido de agregado.

P_b= Porcentaje del peso total de la mezcla = Contenido total de asfalto.

Figura 5

Visualización microscópica de los agregados, aire y asfalto



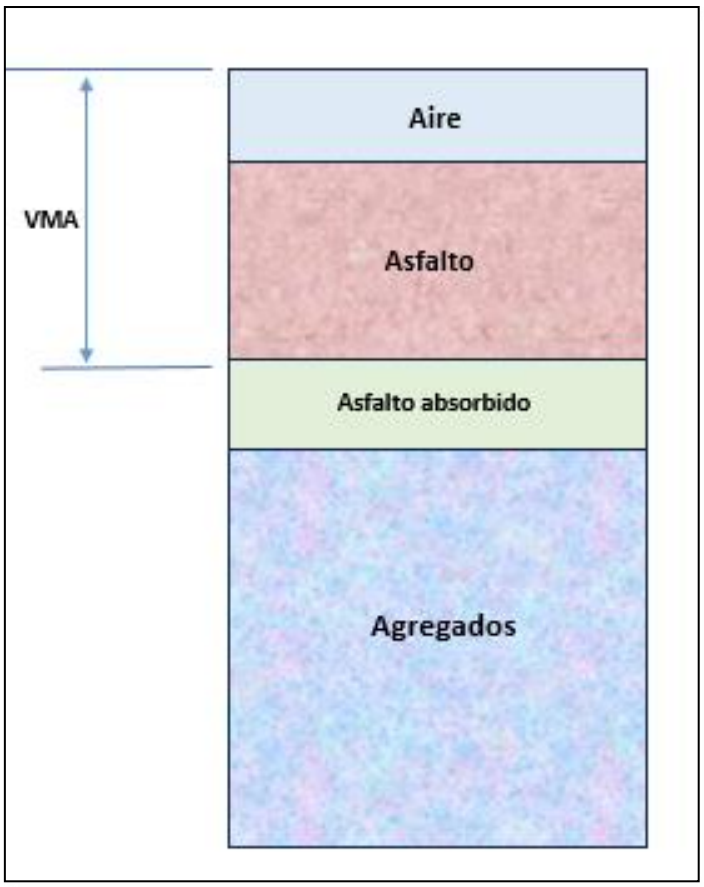
Nota. En la figura se puede ser una apreciación microscópica de los agregados, aire y asfalto en una muestra ensayada (Asphalt, 2007, pág. 47).

PORCENTAJE VACIOS EN EL AGREGADO MINIRAL (VMA)

Las mezclas diseñadas usualmente exhiben un 4 por ciento de espacios vacíos, pues es crucial mantener estos espacios vacíos elevados para asegurar una película asfáltica impecable, lo que influye directamente en la longevidad del asfalto. La existencia mínima de vacíos en la mezcla asfáltica, denominada VMA, influirá de manera crucial en la longevidad y robustez del asfalto con el paso del tiempo. Al reducir la densidad del asfalto mediante la disminución de la VMA, estaríamos erosionando paulatinamente la excelencia y longevidad del pavimento, lo que culminaría en un desenlace fatal. (Asphalt, 2007, pág. 13)

Figura 6

Diagrama de vacíos en los agregados minerales



Nota. En la figura se puede ver el diagrama de vacíos en los agregados minerales

elaboración propia, basada en (Peerapong, Korakod, Wat, & Ghim, 2023)

VOLUMEN DE VACÍOS DE AIRE EN LA MEZCLA COMPACTADA (VTM)

Según (Menendez, 2016) se determina el número total de burbujas aéreas en el asfalto cubierto por una mezcla compactada. Este número se manifiesta como una fracción del volumen total de la combinación. Es crucial recordar que en una mezcla compactada, no se debería tolerar un nivel elevado de VTM.

Es el volumen total de diminutas burbujas de aire atrapadas en los agregados asfaltados en mezclas compactadas, donde no se recomienda la existencia de vacíos elevados en la mezcla compactada (VTM).

$$VTM = \left(\frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) * 100$$

Donde:

VTM= Volumen de vacíos de aire en la mezcla compactada

G_{mb}= Gravedad especifica Bulk del espécimen compactado.

G_{mm}= Gravedad especifica teorica máxima de la mezcla.

VACIOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)

Los espacios vacíos entre las partículas de los agregados (VMA) que se llenan con los aglutinantes con eficacia y precisión, es esencial para asegurar la longevidad y robustez de la mezcla asfáltica. El VFA sigue un riguroso procedimiento para asegurar que la capa de asfalto en la mezcla resultante sea la adecuada. Al reducir la proporción de la mezcla, el material obtenido perderá su longevidad, lo que podría mermar su fortaleza en el tiempo. Si la proporción es excesiva, la estabilidad de la mezcla podría verse comprometida, lo que podría desencadenar problemas de integridad estructural en el producto final. Es crucial encontrar la armonía perfecta en la composición para asegurar un desempeño excepcional tanto en durabilidad como en estabilidad. El valor

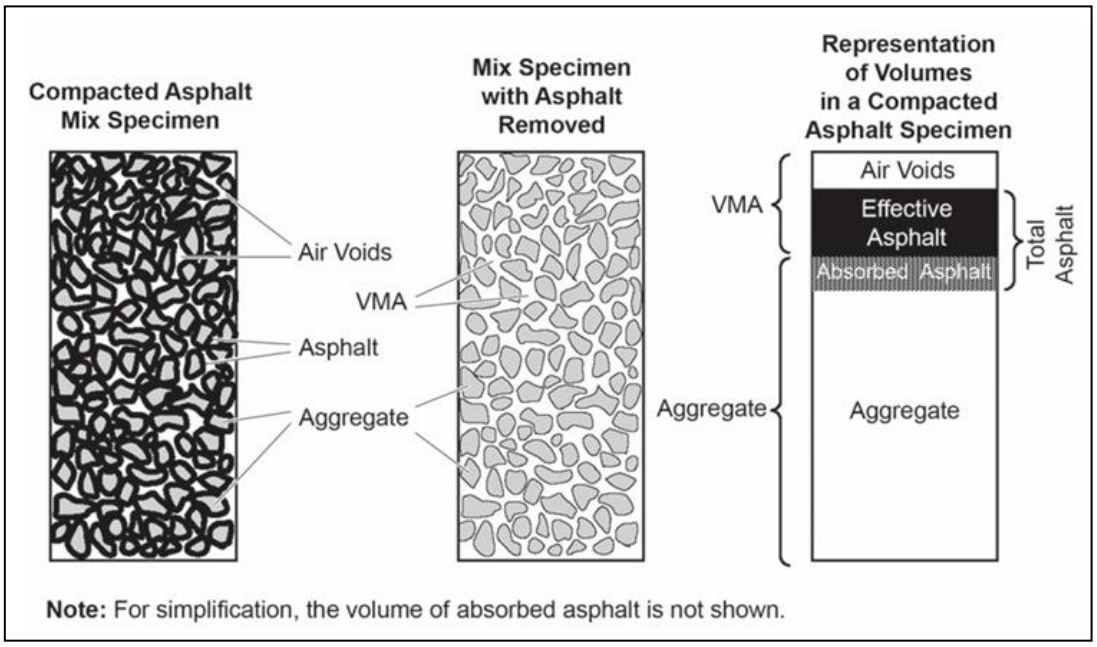
aceptado de la VFA está íntimamente ligado al nivel de tráfico, pues cuando el tráfico se intensifica, es necesario un valor de AGV más bajo. En estas circunstancias, la tenacidad de la mezcla y su solidez son los pilares que más nos preocupan. Por lo tanto, al menguar el flujo vehicular, es imperativo ajustar drásticamente los parámetros de los Vehículos de Guiado Automático (AGV) para potenciar la fortaleza del Asfalto de Alto Módulo (HMA). Si el Valor de Flujo de Agregado (VFA) se eleva considerablemente, se puede formar una mezcla homogénea que puede provocar exudación en la superficie del pavimento. (Asphalt, 2007, pág. 13)

CONTENIDO DE ASFALTO

En la determinación del contenido de asfalto, se entrelazan múltiples factores que influyen, como las características propias de los áridos, la distribución de tamaños de partículas y la habilidad de absorber los componentes pétreos utilizados en la mezcla, ya que estos elementos están directamente vinculados a la cantidad ideal de asfalto. Por ello, conforme la gradación se expande, la superficie total de los agregados se expande, impactando directamente en la necesidad de asfalto.

Figura 7

Vacíos en una Mezcla de HMA Compactada



Nota. En la figura se muestra los vacíos en HMA compactadas (Asphalt Institute, 2014, pág. 13)

AGREGADO MINERAL

El diseño de mezcla consiste en la verificación del deseño cuando se realiza previo a la investigación del diseño, se puede ver los agregados en donde buscamos la combinación adecuada del árido y aglutinante. La creación de una mezcla basada en los datos obtenidos en el terreno, donde el diseñador define con precisión las características esenciales para el diseño final. El material seleccionado para la creación de la mezcla asfáltica debe ser idóneo para ser empleado en el proyecto. En general las propiedades de materiales se debe evaluar siempre con la comprobación necesaria en el diseño de mezcla. (Asphalt Institute, 2014, pág. 20)

LIGANTE ASFALTICO

Cuando nos referimos al ligante asfaltico en los pavimentos consiste de 4-7 % con aglutinante asfaltico, por primera vez la ASTM adopto el estándar para la prueba correspondiente en el año 1903 (ASTM D-5) para ello se tiene dos sistemas, el primer sistema es la clasificación de penetración estos cambien con el tiempo, pero aún siguen utilizando en diferentes países del mundo. Con el paso del tiempo se tienen sistemas adicionales como es el caso del sistema de clasificación de viscosidad (AC) que fue desarrollado por instituto de asfalto conjuntamente con AFC en el año 1950. Los mencionados sistemas han sido más utilizados en los E.E. U.U. de Norteamérica. (Asphalt Institute, 2014, pág. 19)

AGREGADOS GRUESOS

Los agregados gruesos deben ser de procedencia triturada de roca o puede ser también grava puesto que es aceptable la combinación de los mencionados; los fragmentos de los agregados deben de ser durables, resistentes y limpios, no deben de tener el excesos de partícula desintegrables, planas, blandas y alargadas. También deben de estar exentos de arcilla, polvo, terrones, tierra u entre otra sustancia objetable pueden interferir en la adhesión del asfalto y agregados. (EG, 2013, pág. 470)

Tabla 3

Requerimiento 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% min.	35% min.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 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.

Nota. En la siguiente tabla se muestra los parámetros que deben cumplir los materiales (EG, 2013, pág. 560)

AGREGADOS FINOS

Es preferible que los agregados finos sean compuestos por arena triturada, o en su defecto, una mezcla de arena natural. Las dimensiones permitidas para la arena natural serán delineadas conforme a un diseño previamente autorizado por las autoridades pertinentes. Para asegurar una robustez y longevidad impecable en la mezcla de concreto, los agregados finos deben poseer formas angulares, rugosas, duras y cristalinas. Es crucial que las partículas se distribuyan y compacten adecuadamente para asegurar un desempeño estructural óptimo en la construcción. Es crucial que los materiales empleados en la edificación sean impecables y libres de cualquier residuo que impida la adecuada unión del asfalto y los agregados. (EG, 2013, pág. 470)

Tabla 4

Requerimiento 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	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	.	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 min.	35 min.
Índice de plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5 máx.	0,5 máx.
Absorción	MTC E 205	0,5 máx.	0,5 máx.

Nota. En la siguiente tabla se especifica los requerimientos que deben de cumplir los agregados finos (EG, 2013, pág. 560)

GRADACION

Desde hace un largo lapso, se ha erigido como esencial considerar la graduación del agregado en la creación de las mezclas destinadas a la pavimentación con asfalto. El objetivo primordial del establecimiento y manejo de la gradación de asfalto reside en asegurar que la mezcla de asfalto y agregado esté llena de espacios vacíos. Estos espacios son cruciales para asegurar que la capa de asfalto abrace cada partícula con precisión, además de idear un entramado de huecos de aire que permita que el asfalto se expanda térmicamente en la mezcla. Es vital adherirse a los estándares de VMA, que

fluctúan según el tamaño máximo nominal del agregado, para asegurar que el aglutinante idóneo se encuentre presente en cada mezcla. (Asphalt Institute, 2014, pág. 24)

Según especificaciones de la EG se acepta el 1% como máximo las partículas de acuerdo al ensayo de la MTC E 212 puesto que no debe tener materia orgánica por ningún motivo puesto que afectaría negativamente en el diseño. (EG, 2013)

GRADACIÓN PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (MAC)

En la tabla número 5, detallamos las normas granulométricas para la mezcla asfáltica en caliente MAC. Asimismo, es posible emplear las escalas dictadas por la norma ASTM D 3515 y las sugeridas por el Instituto del Asfalto. (EG, 2013, pág. 561)

Tabla 5

Requerimiento de gradación para la mezcla asfáltica en caliente (MAC)

TAMIZ		GRADACION MAC-1		GRADACION MAC-2		GRADACION MAC-3	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
1"	25.000	100		100			
3/4"	19.000	80	100	100	100		
1/2"	12.500	67	85	80	100		
3/8"	9.500	60	77	70	88		100
Nº 4	4.750	43	54	51	68	65	87
Nº10	2.000	29	45	38	52	43	61
Nº 40	0.425	14	25	17	28	16	29
N°80	0.180	8	17	8	17	9	19
Nº 200	0.075	4	8	4	8	5	10

Nota. En la tabla se especifica los requerimientos de gradación para la mezcla asfáltica en caliente según sus tamices (EG, 2013, pág. 561)

METODOLOGÍA MARSHALL PARA EL DISEÑO MAC-2

La metodología Marshall, una revolucionaria técnica concebida para fabricar mezclas asfálticas en caliente, fue ideada por Bruce Marshall, un ilustre ingeniero especializado en asfalto con base en Mississippi, quien desempeñaba un papel en el departamento de carreteras estadounidense. La metodología Marshall, tal y como la entendemos hoy en día, surgió de una minuciosa investigación llevada a cabo por un destacado grupo de ingenieros del ejército estadounidense en 1943, en las tierras estadounidenses de América del Norte. En esta meticulosa exploración, los expertos examinaron meticulosamente y compararon diversas técnicas para la creación y supervisión del asfalto, con la meta primordial de alcanzar un control exacto y una mezcla ideal para la pavimentación de caminos. (Highway, 1982, pág. 70)

Propósito

La meta primordial de la metodología Marshall es determinar con exactitud milimétrica, a través de un minucioso análisis milimétrico, la proporción ideal de asfalto en la mezcla de variados áridos, con el fin de asegurar una calidad excepcional y una longevidad inigualable del asfalto. Este proceso busca desentrañar de manera minuciosa y minuciosa las características y propiedades esenciales para realizar de manera adecuada la creación de la mezcla asfáltica en caliente. Esto facilita la detección exacta de la densidad ideal, la presencia de espacios vacíos y otros factores cruciales al diseñar proyectos de edificación de vías. (Highway, 1982, págs. 70,71)

En la mayoría de los rincones del planeta, la metodología Marshall de mezcla asfáltica en caliente se emplea con cinco contenidos de asfalto distintos, con el fin de lograr el contenido ideal de aglutinante, y los resultados deben ser

reportados con un promedio de tres muestras iguales y compactadas. Se selecciona el contenido optimo del ligante dependiendo del tráfico, criterio de ingeniería, experiencia de material utilizados en la localidad, clima y la mayoría de casos deben ser seleccionados para que los especímenes tengan 4% de huecos de aire. (Asphalt Institute, 2014, pág. 77)

Tabla 6

Criterios de diseño de la mezcla Marshall.

Criterios Marshall	**Trafico ligero**		**Trafico medio**		**Tráfico pesado**	
	Min	máx.	Min	máx.	min	máx.
N° de golpes	35		50		75	
Estabilidad N,lb	3336 (750)		5338 (1200)		8006 (1800)	
Flujo 0.25mm	8	18	8	16	8	14
% de vacíos	3	5	3	5	3	5
% de (VMA)	Tabla N°					
% de (VFA)	70	80	65	78	65	75

Nota. En la tabla se muestra los criterios de diseño Marshall de acuerdo al trafico (Asphalt Institute, 2014, pág. 87)

PORCENTAJE MINIMO DE AGREGADO MINERAL VMA

Tabla 7

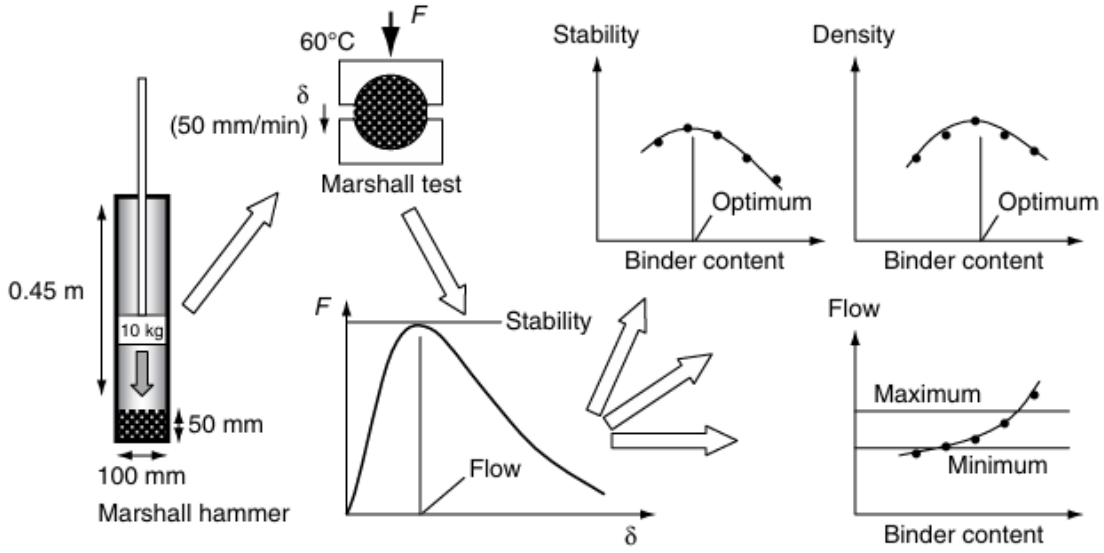
Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral VMA.

Tamaño máximo nominal		**% mínimo de VMA**		
		Diseño de % de vacíos de aire		
Mm	**Pulg**	3	4	5
1.18	N°16	21.5	22.5	23.5
2.36	N°8	19	20	21
4.75	N°4	16	17	18
9.5	3/8	14	15	16
12.5	½	13	14	15
19	3/4	12	13	14
25	1	11	12	13
37.5	1.5	10	11	12
50	2	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9	10	11

Nota. En la tabla tenemos el porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral VMA de acuerdo al tamaño máximo nominal. (Asphalt Institute, 2014, pág. 87)

Figura 8

El procedimiento de diseño de mezcla Marshall



Nota. En la figura tenemos la secuencia o procedimiento de diseño de mezcla Marshall.

(Thom, 2008, pág. 170)

Estabilidad

La estabilidad Marshall nos indica la carga a la cual resiste la mezcla a la tasa de deformación si un valor determinado de estabilidad es bueno, si hay un valor mucho más alto es excelente. Por otro lado, las tendencias llevaran al uso de mezclas con parámetros demasiado altos de estabilidad. La estabilidad Marshall de la mezcla se define como la carga máxima soportada por el espécimen a una temperatura estándar de 60 ºC.

Flujo

El flujo Marshall nos determina la medida a la deformación del total de la muestra (elástica y plástica), en la prueba de estabilidad la deformación consiste en una reducción del diámetro vertical de las briquetas.

La fluidez o flujo es la deformación del espécimen cuando se aplica una carga hasta que alcance una máxima carga en donde falla el espécimen.(Wangdi, 2005, pág. 42)

Análisis de Densidad y Vacíos:

Al concluir las pruebas de estabilidad y flujo, emprendimos una meticulosa exploración de las densidades y vacíos que habitan en las muestras o especímenes examinados. El objetivo del ensayo es desentrañar con exactitud la proporción de espacios vacíos de aire en cada muestra o espécimen examinado. Este hecho es crucial para desentrañar la arquitectura y las características del material en cuestión. (Highway, 1982, pág. 77)

Análisis de Vacíos

El análisis de los desvanecimientos revela diminuto de aire ocultos en los agregados y en las cercanías del suelo en los espécimenes analizados. Los porcentajes de vacíos aéreos se calculan al ponderar la proporción entre el aire y el volumen total del suelo, teniendo en cuenta la gravedad única de cada espécimen compactado. (Highway, 1982, pág. 78)

El porcentaje de vacíos es calculado desde las gravedades especificas en asfalto asi como también en el agregado, determinamos deduciendo las cantidades de asfalto que ha sido adsorbido por los agregados, también se determina directo con la prueba estándar del (ASSHTO T 209) este método determina en muestras no compactadas. El granel de cada uno de los especímenes compactado determinamos realizando el pesaje de cada espécimen al aire y luego sumergido al agua. (Highway, 1982, pág. 79)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

3.1.1. Enfoque de la investigación

Nuestra investigación adopta un enfoque cuantitativo, que consiste en la medición de las variables y el uso de técnicas estadísticas para verificar la hipótesis. Tiene las mismas características que el paradigma positivista que busca el estudio objetivo y controlar la réplica del resultado. El mencionado enfoque nos permitirá analizar el fenómeno empleando a recolectar datos normalmente estructurados como también en números, la finalidad es la obtención generalizada de las conclusiones y lógicamente las predicciones en el comportamiento. (Sucari, y otros, 2024, pág. 75)

3.1.2. Tipo de la investigación

El tipo de investigación es aplicada cuando es realizado con el fin de solucionar un problema práctico inmediato, previamente con la mejora correspondiente un proceso productivo. En esta situación los conocimientos adquiridos son utilizables inmediatamente para solucionar problemas que se tiene en un lugar determinado para utilizarlo de manera correspondiente en las investigaciones. (Sucari, y otros, 2024, pág. 79)

3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es explicativo; está orientado a establecer la causa, el origen de ciertos fenómenos y conjuntos complejos y delicados, en los que el peligro de cometer un error es significativo. La meta es encontrar la relación de causa y efecto de un hecho determinado con el propósito de obtener un conocimiento más amplio. (Palella & Martins, 2006, pág. 103)

3.1.4. Diseño de la investigación

Diseño cuasi-experimental

El caso del diseño cuasi-experimental es utilizado cuando es poco favorable para un diseño verdaderamente experimental, esta metodología se controla parcialmente, orientado en identificar el factor que incide para la valoración externa y interna de lo mencionado, se adapta en utilizar muestras, sujetos, grupos para realizar el experimento, además para realizar un estudio es imposible escoger las muestras al azar por ello se deduce que el estudio se debe aproximar lo más cercano posible para la experimentación. Por consiguiente, debe registrarse tanto el grupo experimental como también el grupo control. Es bastante eficaz para la problemática muy importante con el tipo investigación, cuando no se permiten controlarse totalmente toda la situación, por más se quiera controlarse totalmente toda la situación, la manera de conocer la situación del tipo que se estudia muy parecido a la pre- experimental. Primeramente, puntualizamos la problemática después formulamos las hipótesis, seguidamente ubicamos la fuente, luego recolectamos los datos correspondientes de manera sistematizada y luego examinamos de manera objetivo. Por último, afírmanos o rechazamos las hipótesis, el resultado obtenido se interpreta según el juicio de

la investigación, empleando la estadística correspondiente. (Palella & Martins, 2006, pág. 99)

3.1.5. Método de la investigación

El método de la investigación es el método científico que tiene una secuencia de pasos idóneos y no son simples, temporales. Por ello comprenden del saber racional: esta secuencia es parte de la ciencia en perfecto estado, en donde ya debe ser fundamentada y ordenada para la enseñanza y para tal fin cuenta con los siguientes procedimientos: observación, experimento, hipótesis y teoría. Dentro de los métodos que emplea el científico podemos encontrar método definitorio, hipotético deductivo, procedimiento para medir y mucho más. Para hablar del método científico nos referimos a varias estrategias empleadas en adquirir los conocimientos. Todo ello esta excelente en cambio el método, la ciencia va modificándose según la línea del tiempo como la historia y ciencia. (Suca, 2019, pág. 91)

3.2. ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN.

Esta investigación se llevará a cabo en el laboratorio especializado en el estudio de la mecánica de suelos y pavimentos, situado en la ciudad de Puno, en la provincia de San Román, específicamente en el distrito de Juliaca.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.

Población

La comunidad de probetas elaboradas se forja mediante la incorporación de PET reciclado en la creación de la mezcla asfáltica en caliente, junto con agregados de piedra triturada, arena triturada y arena natural, provenientes de la cantera Cabanillas. Los recursos mencionados anteriormente han sido utilizados para crear caminos flexibles en la vasta región de Puno, situada en el

sur de Perú. La planta de trituración de piedra caliza se halla ubicada con maestría en el distrito de Cabanillas, en un área accesible para los vehículos pesados. Esto agiliza el transporte ágil de los recursos esenciales hacia diversos destinos, impulsando así el crecimiento económico del área.

Muestra

A lo largo del proceso de creación de la mezcla asfáltica en caliente, es necesario obtener un total de 21 probetas para su análisis posterior. Estas muestras se segmentan en doce conjuntos convencionales y nueve conjuntos modificados con plástico reciclado PET, cada uno con variados porcentajes de adición, que oscilan entre el 1%, 2% y 3%.

3.4. AMBITO DE ESTUDIO

3.4.1. Ubicación del área en estudio

Cantera Cabanillas

Ubicación: La cantera Cabanillas está ubicado en el distrito de Cabanillas, provincia de San Román del departamento de Puno.

Origen: Aluvial, se depositan por erosión natural y sedimentación de la cuenca del rio Cabanillas

Tipo: Transportados por el rio se emplea para mezclas asfálticas y concretos.

Muestra: Podemos encontrar agregado gruesos y finos (canto rodado)

3.4.2. Descripción del área de estudio

Los trozos de piedra fueron recolectados meticulosamente de la cantera Cabinillas, situada en los alrededores de la urbe. Posteriormente, estos recursos fueron meticulosamente trasladados al laboratorio dedicado a la mecánica de

suelos y pavimentos en Juliaca, Puno, donde se realizó un minucioso escrutinio conforme a las rigurosas normativas actuales.

3.4.3. Muestreo y preparación de muestras para el estudio

Los agregados han sido triturados en la planta asfaltadora del gobierno regional Puno; piedra chancada, arena chancada y arena natural.

Técnica

- ✓ Recolección de muestras
- ✓ Estudio de mecánica de suelos
- ✓ Observación
- ✓ Trabajo de gabinete
- ✓ Ensayo Marshall

Instrumentos

- ✓ Maquina Marshall
- ✓ Ficha técnica de estudio
- ✓ Laboratorio se suelos y pavimentos.
- ✓ Materiales y implementos de oficina.
- ✓ Ensayo Marshall

3.5. PRUEBAS QUE SE REALIZARON A LOS AGREGADOS

1) Resistencia a la degradación de áridos gruesos pequeños debido al impacto y a la abrasión en la máquina de los ángeles (ASTMC131/C131M-20)

El ensayo en la máquina de abrasión permite determinar con precisión y minuciosidad la fortaleza frente al desgaste de los materiales empleados en la edificación, compactación y fabricación de asfalto, un elemento esencial para asegurar la longevidad y excelencia de las estructuras de transporte. La robustez esencial a lo largo de su existencia es crucial para asegurar su longevidad y un

desempeño impecable a lo largo del tiempo. Es crucial tener en cuenta que esta tenacidad es un pilar fundamental en la excelencia y la longevidad del asfalto. Es imperativo que la carpeta asfáltica pueda resistir las condiciones climáticas adversas, el tráfico incesante y el transcurso del tiempo sin sufrir un deterioro prematuro. En consecuencia, resulta imperativo emplear materiales de alta calidad y adherirse a procesos de construcción apropiados para garantizar que la carpeta asfáltica cumpla su función durante un período prolongado.

La carpeta asfáltica está sometido a esfuerzo y deformación cuando esta revive el peso de los neumáticos es directamente transmitido a la capa de rodadura con llanta presionando verticalmente con una aproximación alta y uniforme con mayor impacto en la parte superior y con un mínimo impacto de la subrasante. Razón por el cual los áridos que se encuentran superior a la carpeta asfáltica y base deben de ser muy resistentes de los áridos que están en las partes inferiores. La norma para medir los parámetros que deben cumplir los agregados son ASTM C-131 O AASHTO T-96.

Se enumera los equipos de laboratorio:

- ✓ Máquina de abrasión de los ángeles
- ✓ Tamiz (3",2.5",2",1.5",1",3/4",1/2", 3/8", ¼"4°4 y N°8)
- ✓ Esperas acero
- ✓ balanza
- ✓ Horno

Para el ensayo se tiene varios métodos según a los tamices pasantes del agregado y cambias también las esferas. A, B, C, D.

Tabla para agregado gruesos de 1 ½"

Procedimiento se realiza de la siguiente manera:

los agregados hemos lavado y su posterior secado en horno dentro de un rango de temperatura de 105-110°C. se han tamizado con el método B. Después del tamizado se ha pesado la muestra 5003 kg.

Se introduce la muestra pesado a la maquina con su esfera correspondiente, se cierra fijamente la maquina y luego se prende la maquina durante 15 minutos.

Cuando se finaliza el tiempo se saca la muestra y luego se tamiza con la malla N° 12

Después de tamizar por la malla N° 12, el agregado retenido de la malla mencionada se lava y después secamos en el horno a una temperatura de 105°.

CALCULOS

$$\%\ Desgaste = \frac{P\ inicial - P\ final}{P\ inicial} * 100$$

$$\%\ desgaste = \frac{5003 - 3898}{5003} * 100$$

$$\%\ desgaste = 22.10\%$$

RESULTADOS

Tabla 8

Gradación de la muestra para el ensayo % de desgaste.

Sieve Size (Square Openings)		Mass of Indicated Sizes, g			
Passiong	retained on	Grading			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 1/2")	25 mm (1")	1250+25			
25 mm (3/4")	19 mm (3/4")	1250+25			
19 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	1250+10	2500+10		
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	1250+10	2500+10		
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")			2500+10	
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (N°4)			2500+10	
4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)				5000+10
	TOTAL	5000+10	5000+10	5000+10	5000+10

Nota. Se muestra la tabla de gradación para el ensayo % de desgaste para adoptar según los métodos especificados. ASTM C131/C131M-20

RESULTADOS

Tabla 9

Tamaño de mallas

TAMAÑO DE MALLAS,mm(Pulg)		MASA ORIGINAL (GRAMOS)	MASA FINAL (GRAMOS)	MASA PERDIDA DESPUES DE 1000 REVOLUCIONES	% DE DESGASTE POR ABRACION	GRADACION
PASA	RETIENE					
37.5 mm (1 1/2")	25 mm (1")	…	…	…	…	B
25 mm (3/4")	19 mm (3/4")	…	…	…	…	
19 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	2500	…	…	…	
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	2503	…	…	…	
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")	…	…	…	…	
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (N°4)	…	…	…	…	
4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	…	…	…	…	
	TOTAL	5003	3898	1105	22.1	

Nota. Se muestra en la tabla el porcentaje de descaste según ASTM C131/C131M-20

Tabla 10

Resultados del desgaste

RESULTADOS OBTENIDOS	
Peso inicial de la muestra	5003 gr.
Peso del material retenido malla N°12	3898 gr.
Porcentaje de desgaste del Material	21.10%

Nota. En la tabla se muestra los resultados al realizar el ensayo de abrasión de los ángeles que es elaboración propia.

Figura 9

Máquina de abrasión para el ensayo del agregado grueso.



Nota. En la figura se muestra la máquina de abrasión de los ángeles en donde se ha realizado el ensayo.

3.6. DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS AL SULFATO DE MAGNESIO

Este ensayo establece la disminución del material o agregado mineral al efectuar el estudio de durabilidad del agregado, en el cual se somete a un reactivo químico: sulfato de magnesio, el análisis nos refleja a valorar la resistencia del árido para ver el daño que sufre el árido, esto para comprobar cuando el árido utilizado estar expuesto a diferentes agentes climatológicos en el transcurso de vida útil para el pavimento.

OBJETIVO

Este estudio se lleva a cabo con el fin de medir la fortaleza frente a la descomposición de los materiales pétreos bajo la influencia del sulfato de magnesio durante una hora y media. La muestra se sumerge meticulosamente en el líquido de sulfato de magnesio y luego se seca en el horno a una

temperatura constante. Los estudios se realizan para calcular la porción total de reducción de peso.

EQUIPO Y REACTIVO

- ✓ Tamiz
- ✓ Envases
- ✓ Balanza
- ✓ Horno

AGREGADO GRUESO

Se envasa el árido retenido por el tamiz ¾ -3/8", 3/8"- N°4, en cada una de las muestras debe tener mínimamente 5% del peso total de la muestra. En algunos casos cuando no contiene el mínimo de 5% no se realiza el ensayo de la muestra.

PROCEDIMIENTO

La muestra a examinar se introduce meticulosamente en un recipiente lleno de sulfato de magnesio, donde permanecerá inmersa durante un lapso que oscila entre 16 y 18 horas. Es crucial que la mezcla se reparta de forma homogénea para asegurar que la muestra quede completamente cubierta por una capa de al menos 13 milímetros de espesor. Asimismo, es crucial garantizar que el contenedor empleado esté herméticamente cerrado para evitar cualquier escape durante el procedimiento. Se aconseja mantener la muestra en un ambiente de 21 grados Celsius durante toda la inmersión.

Pasado el tiempo dejar secar por lo menos 15 a 20 minutos dentro del horno a una temperatura de 110°C a 115°C verificamos el peso no menor a 4 horas ni mayor a 18 horas.

Cuando el peso ha sido sostenido por el tiempo necesario, se permite que se enfríe a la temperatura ambiente. Posteriormente, se adentra de nuevo en la solución para mantener a flote el ciclo terapéutico.

ESTUDIO CUANTITAVO

1. Al finalizar el ciclo lavamos las muestras para eliminar el sulfato de magnesio, seguidamente se lava con agua destilada como ultima lavada con el reactivo de cloruro bárico (Ba Cl2).
2. Secar al horno consta mente a una temperatura 110 °C a 115°C y pesamos.
3. Tamizamos el árido grueso con los tamices que indicamos a continuación de acuerdo al tamaño de partículas.

RESULTADOS

Tabla 11

Durabilidad de los agregados piedra chancada ½"

TAMIZ	%RET.	P.INICIAL	PESO FIN.	PERD. PESO	% PERD.	% PERD. CORREG.
2 1/2" -1 1/2"						
1 1/2" -3/4"						
3/4" - 3/8"	62.43	1003	968	35	3.49	2.18
3/8"-N° 4	36.21	300	286	14	4.67	1.69
menores N°4	1.36					

Nota. En la tabla se muestra los agregados de piedra chancado.

Al terminar el ensayo de durabilidad de los agregados gruesos al sulfato de magnesio se tiene los siguientes resultados.

El peso inicial del tamiz ¾"-3/8" como peso inicial es de 1003.00kg. la partida de peso 35.00kg con una pérdida de 3.45 y una perdida corregida de 2.18 gr. Para tamiz 3/8"- N°4 un peso inicial 300.00, peso final 286.0, pérdida de peso 4.67 y un porcentaje corregida 1.89 siendo la pérdida total de 3.87 %.

Figura 10

Agregado piedra chancada 1/2



Nota. Se muestra en la figura el agregado para poner al reactivo.

3.7. DETERMINACION DE INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO

OBEJETIVO O FINALIDAD

Al calcular el índice de durabilidad del agregado, se obtienen los valores que muestran la resistencia de estos materiales en donde el fino es perjudicial como las arcillas cuando de fusionan con métodos prescritos cuando se degradan específicamente.

EQUIPOS

PREPARACION DE LA MUESTRA

Proporcione una muestra inicial de 2550 ± 25 gramos (peso en seco al aire), siguiendo las instrucciones de clasificación detalladas a continuación:

Tamaño del Agregado de Masa Seca al Aire, granulometría que oscila entre 19.0 y 12.5 milímetros (3⁄4 a 1⁄2 pulgadas), con un peso de 1070 ± 10, 12.5 a

9.5 milímetros (1／2 a 3／8 pulgadas) con un peso de 570 ± 10, 9.5 a 4.75 milímetros (3／8 pulgadas a No. 4), y 25.50 ± 25.

Para los materiales cuya proporción no supere el 10 % en ninguna de las fracciones de tamaño mencionadas en la sección 10.1, es crucial preparar la muestra de prueba empleando el porcentaje real correspondiente a la fracción que no alcance el 10 %. Asimismo, es crucial incrementar paulatinamente las fracciones restantes para lograr una muestra de prueba que supere la cifra de 2550 gramos.

PROCEDIMIENTO

1. Obtenemos las muestras para realizar el ensayo de los agregados.
2. Lavamos los áridos, secamos y después lo tamizamos con las siguientes mallas ¾"a 1 ½", 1 ½" a ¾", ¾"a N°4.
3. Los áridos retenidos por los tamices mencionados colocamos en un cilindro con la solución de Ca Cl2 al 5% de la solución.
4. Introducimos el árido en el agitador mecánico por un lapso de 20 minutos.
5. Al realizar el agitado los áridos se desintegran avanzando hacia el sistema de sedimentación.

RESULTADOS

Tabla 12

Determinación del índice de durabilidad Piedra Chancada 1/2

ITEM	DESCRIPCION		ENSAYOS	
1	Volumen de la Muestra	Ml	85	85
2	Tiempo de Lavado	Min	2	2
3	Tiempo de Agitación	Min	10	10
4	Tiempo de Sedimentación	Min	20	20
5	Tiempo de la Solución	(°C)	23	23
6	Altura de la sedimentación	Pug.	0.6	0.7
7	Índice de Durabilidad		82	80
8	**Índice de Durabilidad (Dc)**		81	

Nota. En la tabla se aprecia la determinación del índice de durabilidad de la piedra chacada.

La muestra total es de 2500 gr. Al realizar el ensayo tenemos un índice de durabilidad (Dc) de 81.00%.

3.8. Método de ensayo para determinar chatas y alargadas

OBEJETIVO O FINALIDAD

Este estudio busca determinar con exactitud la proporción de áridos alargados y chatos que serán utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente. Este dato es crucial para determinar con precisión la proporción de cada tipo de árido tras realizar las pruebas pertinentes.

EQUIPOS

✓ Balanza

✓ Horno

- ✓ Tamiz (1/4",3/8", ½", ¾", 1", 2", 2 ½")
- ✓ Calibrador para determinar chatas y alargadas.
- ✓ Bandejas.

PREPARACION DE LA MUESTRA

1. Se prepara la muestra por cuarteo la cantidad necesaria.
2. Se tamiza por las mallas antes mencionadas, determinar la cantidad retenido entre las mallas consecutivas.
3. Separamos los materiales retenidos de cada malla.

PROCEDIMIENTO

a) Los agregados que se separaron se hacen pasar por el calibrador de espesor de las ranuras.

b) Pesamos las cantidades de cada partícula, fricción que han pasado por la ranura del calibrador y la aproximación de la balanza debe ser de 0.1.

c) Los agregados que hemos separado lo pasamos por el calibrador de longitud en la barra de separación donde corresponde.

d) Realizamos los pesajes de cada partícula retenidas dentro de la barra correspondiente, con aproximación de 0.1% respecto al peso total de la muestra ensayada.

RESULTADOS

Tabla 13

Determinación de chatas y alargadas de Piedra chancada ½

PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN MASA (%)	**3.2**
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN MASA (%)	**4.1**

Nota. En la tabla se puede ver el porcentaje determinación de chatas y alargadas.

Figura 11

Determinación de partículas chatas y alargadas



Nota. En la figura se puede ver la realización del ensayo de determinación de partículas chatas y alargadas.

3.9. PORCENTAJES DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS

Este minucioso estudio se realizó en torno a los agregados de gran tamaño, conforme lo establece con claridad la normativa vigente. El objetivo primordial es robustecer la resistencia al esfuerzo cortante, elevando la fricción entre las partículas y brindando una robusta estabilidad a los áridos que forman la carpeta asfáltica destinada a pavimentar.

OBEJETIVO O FINALIDAD

Determinar el porcentaje de una cara, dos o más caras fracturadas en peso de la muestra a utilizar.

EQUIPOS

✓ Tamiz

✓ Espátula

✓ Balanza con capacidad de 5 kilogramos.

✓ Partidor de muestras.

PREPARACION DE LA MUESTRA

Seleccionamos las muestras y luego cuartemos

Las muestras para realizar los ensayos deben tener cantidad mayor en peso según la tabla que se muestra.

PROCEDIMIENTO

Procedemos a lavar la muestra con la malla N°4 Y raspar si hay finos en el material y pesamos, secamos.

Determinamos el peso de la muestra lavada y utilizamos balanza con aproximación de 0.1%

Sobre una mesa de trabajo en el laboratorio en superficie plana tendemos las muestras secar a temperatura ambiente y lo más grande posible para revisar mejor.

En la revisión se verificamos cada partícula si cumple o no con el criterio de un car fracturada, dos caras o más.

Revidemos en partes como corresponde para el análisis como se especifica.

RESULTADOS

Tabla 14

Determinación de las caras de fractura en agregado grueso.

A. CON UNA CARA FRACTURADA						
TAMAÑO DE AGREGADO		**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
PASA TAMIZ	**RETENIDO EN TAMIZ**	**(g)**	**(g)**	**((B/A)+100)**	**% Retenido**	**C*D**
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	745.5	185.1	24.8	32.1	796
1/2"	3/8"	607.8	170.9	28.1	62.4	1755.4
TOTAL		1353.30	356.00	52.90	94.50	2551.40

PORCENTAJE CON CARA FRACTURADA	**TOTAL E/TOTAL D**	**2551.40/94.50**	**27.00**	**%**

A. CON UNA CARA FRACTURADA						
TAMAÑO DE AGREGADO		**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
PASA TAMIZ	**RETENIDO EN TAMIZ**	**(g)**	**(g)**	**((B/A)+100)**	**% Retenido**	**C*D**
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	745.5	372.3	49.9	32.1	1601.79
1/2"	3/8"	607.8	288.3	47.4	62.4	2957.76
TOTAL		1353.30	660.60	97.30	94.50	4559.55

PORCENTAJE CON CARA FRACTURADA	**TOTAL E/TOTAL D**	**2551.40/94.50**	**48.3**	**%**

Nota. En la tabla se puede tiene los resultados de la determinación de las caras de fractura en agregado grueso.

3.10. SALES SOLUBLES TOTALES

OBEJETIVO O FINALIDAD

El análisis se lleva a cabo para descubrir la presencia de sulfatos y cloruros en los materiales utilizados en la creación del asfalto.

EQUIPOS

- ✓ Horno
- ✓ Balanza plancha de calentamiento
- ✓ Mecheros
- ✓ Matraz aforado
- ✓ Solución de cloruro de sodio
- ✓ Agua destilada
- ✓ Vasos precipitados
- ✓ Pipitas

PREPARACION DE LA MUESTRA

PROCEDIMIENTO

1. La muestra lo secamos en horno a 110°C A
2. Al finalizar la precipitación, añadimos meticulosamente agua destilada hasta que el nivel alcance los 3 centímetros de altura. Estimamos el caudal del líquido en el contenedor y comenzamos a calentar lentamente hasta que se ponga en ebullición.
3. Agitamos durante 1 minuto y repetimos uno se ha realizado el primer agitado cuatro veces durante el intervalo de 10 minutos.
4. Decantamos en un periodo de tiempo mínimo de 10 minutos, el líquido de estar transparente de un color más claro, determinamos por separado dos tubos de ensayo después añadimos 1 gota del reactivo.

5. Realizamos los pasos 2 y 4 hasta que no haiga presencia de sales.
6. Cuando enfrié el líquido acumulado lo vaciamos a un matraz aforado enrazamos con aguas destillada. B
7. Tomamos el alícuota con un volumen de 50 y 100 ml en matraz aforado y homogenizado registramos el volumen como C.
8. Cristalizamos en el hormo a 100 °C y después registramos el peso como D.

RESULTADOS

Tabla 15

Determinación de sales solubles totales

ITEM	DESCRIPCION		ENSAYOS	
1	Peso Tarro (Biker 100)	Ml	40.52	40.52
2	peso Tarro + agua +sal	gr.	122.11	122.43
3	Peso Tarro Seso + Sal	gr.	40.57	40.58
4	Peso de Sal	gr.	0.05	0.06
5	Peso de Agua	gr.	81.54	81.85
6	Contenido de Sales	%	0.06	0.07
7	Solubles Totales	Ppm	613.20	733.05
8	PONDERADO	%	0.07	
9		Ppm	673.12	

Nota. En la tabla se muestra la determinación de sales solubles totales.

Figura 12

Ensayo de determinación de sales solubles totales.



Nota. En la figura se muestra el ensayo de la determinación de sales solubles totales.

3.11. ESTIMACIÓN DEL GRADO DE ADHERENCIA DE PARTÍCULAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, PEN 120/150

La mayoría de los áridos presentan porosidad algunos más y otros menos. Los poros que están presentes en los agregados determinamos sumergiendo los agregados bañando con PEN 120/150 y se calcula cuanto de líquido adsorbe el agregado. Los agregados porosos adsorben mayor cantidad de cemento asfaltico hasta cuando están en servicio siguen adsorbiendo cemento asfaltico es por ello que se debe aumentar más cantidad de cemento asfaltico.

OBEJETIVO O FINALIDAD

Es determinar la cantidad de retención de la película de betumen al contorno del agregado junto al agua.

EQUIPOS

- ✓ Balanza electrónica
- ✓ Tamices 3/8", ¼"
- ✓ Bandeja
- ✓ Porcelanato – recipiente
- ✓ Vaso precipitado de vidrio 500ml
- ✓ Horno
- ✓ Baño maría para asfalto
- ✓ Cemento asfaltico PEN 120/150
- ✓ Agua destilada con PH de 6 y 7.

PREPARACION DE LA MUESTRA

Tamizamos los agregados gruesos con la malla 3/8" y ¼".

Lavamos las muestras retenidas del tamiz utilizado, agua destilada y llevamos a secar al horno a una temperatura 140°C.

PROCEDIMIENTO

En primer lugar, calentamos el cemento asfaltico y agregado a una temperatura 142°C para proceder a mezclar.

Pesamos 100 gramos del agregado seleccionado y echamos al recipiente de porcelanato adicionando los áridos, 2 ml de agua destilada, mover homogéneamente las partículas hasta que estén bien húmedos y pesar la mezcla con el frasco.

Adicionar al frasco de porcelanato, cuando está en la balanza el betumen. Mover con espátula uniformemente para que el agregado este al 100% revestido con el cemento asfaltico.

La mezcla se deposita en un recipiente de 500 ml y se introduce en el horno durante dos horas a una temperatura de 140°C.

Pasado las 2 horas sacamos del horno el recipiente, seguimos mezclando nuevamente hasta que empiece a enfriar a temperatura del medio ambiente.

Seguidamente adicionamos 400 ml de agua destilada a 25°C.

El recipiente llevamos a baño maría a una temperatura de 25°C y la altura sugerido es de ¾" partes según la altura del recipiente de vidrio, la temperatura no debe bajar ni subir.

El recipiente estará en baño maris un periodo de 16 a18 horas.

Sacamos la muestra con cuidado sin mover ni alterar el agregado revestido. Se determina el área revestida es mayor o menor a 95%.

CALCULOS

RESULTADOS

Tabla

Grado de adherencia de piedra chancada ½

REVISTIMIENTO	**ADHERENCIA**
1	más 95

Nota. Determinación de grado de adherencia de piedra chancada ½

Figura 13

Ensayo de grado de adherencia de partículas de mezclas asfálticas.



Nota. Ensayo de grado de adherencia de partículas de mezclas de asfálticas.

3.12. DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA (ARENA NATURAL)

OBJETIVO O FINALIDAD

En este estudio se revela la proporción de finos presentes en la arena auténtica y se distingue el material fino presente en el agregado denominado equivalente de arena.

EQUIPOS

- ✓ Probeta graduada
- ✓ Sistema de sifón
- ✓ Tubo irrigador
- ✓ Tubo flexible
- ✓ Papel filtro N°2
- ✓ Horno
- ✓ Recipiente par la mezcla
- ✓ Tamiz
- ✓ Pisón de metal
- ✓ Embudo
- ✓ Recipiente metálico

PREPARACION DE LA MUESTRA

Agarrar una muestra 500 gr. aproximado tamizamos por la malla N° 4. Los agregados que vamos a utilizar tenemos que majear cuidadosamente sin desmenuzar los terrones que se encuentran.

Determinamos por cuarteo la cantidad de agregado, humedecemos un poco para que ocurra la segregación del agregado.

PROCEDIMIENTO

Cuartemos el agregado para seleccionar la muestra a ensayar.

Por último, procedimos a desmenuzar el agregado seleccionado con la malla N° 4 y depositamos la muestra en el sifón.

Vertemos agua a la probeta ya con la muestra dentro unos 102mm.

A continuación, dejamos reposar la muestra durante un par de minutos, cerramos la probeta y la agitamos con vigor.

Dejamos que repose por un lapso de 20 minutos y después pasamos a lectura de arcilla presentes.

Pasamos a introducir dentro de la probeta el ensamblaje de pie y bajamos suavemente hasta llegar a la arena.

Al finalizar se introduce hasta que toque la arena, lecturamos y anotamos.

RESULTADOS

Tabla 16

Determinación del equivalente de arena natural.

ITEM	DESCRIPCION	ENSAYOS	
1	Tamaño Máximo	N°4	N°4
2	Muestra	1	2
3	Hora de Entrada a Saturación	10:35	10:37
4	Hora de Salida a Saturación	10:45	10:47
	IRRIGACION		
5	Hora de Entrada a reposo	10:47	10:49
6	HORA de Salida a reposo	11:07	11:09
7	Altura Máxima de Material Fino (Pulgadas)	4.7	4.7
8	Altura Máxima de Arenal Fino (Pulgadas)	3.8	3.8
9	Equivalente de Arena (%)	81	81
10	Equivalente de Arena Promedio (%)	81	

Nota. En la tabla se puede ver la determinación del equivalente de arena natural.

Figura 14

Determinación del equivalente de arena natural.



Nota. En la figura podemos ver el ensayo de determinación del equivalente de arena natural.

9) DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA (ARENA CHANCADA)

Los ensayos que se realizaron son los mismo que en la arena natural.

RESULTADOS

Tabla 17

Determinación del equivalente de arena (arena chancada)

ITEM	DESCRIPCION	ENSAYOS	
1	Tamaño Máximo	N°4	N°4
2	Muestra	1	2
3	Hora de Entrada a Saturación	10:15	10:17
4	Hora de Salida a Saturación	10:25	10:27
IRRIGACION			
5	Hora de Entrada a reposo	10:27	10:29
6	HORA de Salida a reposo	10:47	10:49
7	Altura Máxima de Material Fino (Pulgadas)	4.8	4.7
8	Altura Máxima de Arenal Fino (Pulgadas)	3.3	3.3
9	Equivalente de Arena (%)	69	71
10	Equivalente de Arena Promedio (%)	70	

Nota. En la tabla se muestra la determinación del equivalente de arena chancada.

3.13. DETERMINACIÓN DE LA ANGULARIDAD DE AGREGADO FINO (ARENA NATURAL)

OBEJETIVO O FINALIDAD

En esta investigación se exploran los vacíos de aire y la angularidad de arena natural, pasantes de la malla N°8 delicadamente compactado.

EQUIPOS

- ✓ Tamiz N°8, N°200
- ✓ Embudo metálico
- ✓ Cilindro metálico
- ✓ Marco metálico

PREPARACION DE LA MUESTRA

PROCEDIMIENTO

Los agregados retenidos por el tamiz N°8 son separados y los retenidos por tamiz N°200 se emplean para el ensayo.

Determinamos su gravedad especifica del agregado que estamos utilizando.

Echamos la arena con el embudo hasta llenar el cilindro ya con el volumen especificado, enrasamos para pesar el agregado retenido en el cilindro.

CALCULOS

$$A° = \frac{V - \frac{W}{Gsb}}{V} * 100$$

Donde:

W: Peso del agregado fino

V: volumen del cilindro

Gsb: Gravedad especifica

RESULTADOS

Tabla 18

Determinación de la angularidad de agregado fino (arena natural)

ITEM	DESCRIPCION	ENSAYOS	
1	Peso de agregado fino + molde	5612	5623
2	Peso del molde	4262	4262
3	Peso de material en el molde	1350	1361
4	volumen de Molde	929	929
5	Peso Específico Seco	2.38	2.38
6	**Angularidad de agregado fino (%)**	38.89	38.39
7	**Angularidad de agregado fino Promedio (%)**	38.39	

Nota. En la tabla se muestra la determinación de la angularidad del agregado fino arena chancada.

Figura 15

Determinación de la angularidad de agregado (arena natural)



Nota. En la figura se puede apreciar el ensayo de la determinación de la angularidad de agregado arena chancada.

3.14. DETERMINACIÓN DE LA ANGULARIDAD DE AGREGADO FINO (ARENA CHANCADA)

El ensayo se lleva a cabo igual que con la arena natural del número 10 siguiendo la MTC-222 para medir la angularidad de la arena fina triturada.

RESULTADOS

Tabla 19

Determinación de la angularidad de agregado fino.

ITEM	DESCRIPCION	ENSAYOS	
1	Peso de agregado fino + molde	5532	5538
2	Peso del molde	4262	4262
3	Peso de material en el molde	1270	1276
4	volumen de Molde	929	929
5	Peso Específico Seco	2.48	2.48
6	**Angularidad de agregado fino (%)**	44.77	44.50
7	**Angularidad de agregado fino Promedio (%)**	44.50	

Nota. En la tabla se puede ver la determinación de la angularidad de agregado fino.

3.15. ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS ARIDOS FINOS (PROCEDIMIENTO RIEDEL - WEBER) – ARENA NATURAL.

OBEJETIVO O FINALIDAD

En este ensayo determinamos la adhesividad del cemento asfaltico PEN 120/150 al agregado en nuestro caso la arena natural.

EQUIPOS

- Tubo de ensayo
- Estufa
- Balanza
- Tamiz
- ADITIVO
- Quimibond 3000/Mejorador de adherencia

PREPARACION DE LA MUESTRA

Teniendo el agregado en el laboratorio procedemos a cuartear para una representación adecuada y la cantidad es de 200 gr.

PROCEDIMIENTO

Tamizamos los 200 gramos de la arena natural con los tamices N°30 y N°70 los agregados retenidos de estos dos tamices lo realizamos el ensayo.

El agregado que hemos obtenido lo lavamos por el tamiz N°70 con agua para desechar los polvos presentes en la arena natural, después del lavado llevamos al horno a una temperatura de 145°C en un periodo de tiempo de 1 hora.

Preparamos el agregado y mezcla bituminosa

La disolución del carbonato sódico se prepara de forma creciente M/256 a M/1.

Tabla 20

Determinación de la adhesividad del cemento asfaltico

	Soluciones de Ensayo
Molaridad	G de Na2 CO3/1 disolución
M/256	0,414
M/128	0,828
M/64	1,656
M/32	3,312
M/16	6,225
M/8	13,25
M/4	26,5
M/2	53,0
M/1	106,0

Nota. La tabla representa la determinación de la adhesividad del cemento asfaltico.

RESULTADOS

Tabla 21

Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (procedimiento riedel - weber) de arena natural.

REVESTIMIENTO			ADHERENCIA	RESULTADO
AGUA DESTILLADA			NULO	Parcial: Grado 5 TOTAL:Grado 10
Concentracion de Carbonato Sodio (G de N2CO3)	M/256	1	NULO	
	M/128	2	NULO	
	M/64	3	NULO	
	M/32	4	NULO	
	M/16	5	PARCIAL	
	M/8	6	PARCIAL	
	M/4	7	PARCIAL	
	M/2	8	PARCIAL	
	M/1	9	PARCIAL	

Nota. La tabla representa la adhesividad de los ligantes bituminosos.

13) ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS ARIDOS FINOS (PROCEDIMIENTO RIEDEL - WEBER) – ARENA CHANCADA.

Este ensayo de adhesividad se ha realizado ítem que el ensayo número 12, solamente que este caso se ha empleado en arena chancada.

PROCEDIMIENTO

Tabla

Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (procedimiento riedel - weber) – arena chancada.

	Soluciones de Ensayo
Molaridad	G de Na2 CO3/1 disolución
M/256	0,414
M/128	0,828
M/64	1,656
M/32	3,312
M/16	6,225
M/8	13,25
M/4	26,5
M/2	53,0
M/1	106,0

Nota. Adhesividad de los ligantes bituminosos de los áridos finos - arena chancada.

RESULTADOS

Tabla 22

Adhesividad de los ligantes bituminosos (arena chancada)

REVESTIMIENTO			ADHERENCIA	RESULTADO
AGUA DESTILLADA			NULO	AD
Concentración de Carbonato Sodio (G de N2CO3)	M/256	1	NULO	
	M/128	2	NULO	
	M/64	3	NULO	
	M/32	4	NULO	
	M/16	5	PARCIAL	
	M/8	6	PARCIAL	
	M/4	7	PARCIAL	
	M/2	8	PARCIAL	
	M/1	9	PARCIAL	

Nota. La tabla muestra adhesividad de los ligantes de arena chancada.

Figura 16

Determinación de adhesividad



Nota. En la figura se muestra el ensayo de adhesividad.

3.16. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ARENA NATURAL

En este ensayo no presenta los limites líquido, limite plástico e índice de plasticidad.

RESULTADOS

Tabla 23

Determinación de límites de arena natural (NO PRESENTA)

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
DESCRIPCION	1	2	3	1	2	3
Nr. De Recipiente						
Masa de Recipiente						
Masa de Recipiente + Suelo Húmedo						
Masa Recipiente + Suelo Seco						
N° De Golpes						
Cantidad mínima requerida LL:20g/LP.6g	NO PRENSENTA					
Contenido de Humedad	NO PRENSENTA					

Nota. En la tabla se muestra el ensayo de la determinación de limetes.

3.17. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ARENA CHANCADA

Al igual que el anterior no presenta limites líquido, plástico y el índice de plasticidad

RESULTADOS

Tabla 24

Determinación de limites arena chancada (NO PRESENTA)

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
DESCRIPCION	1	2	3	1	2	3
Nr. De Recipiente						
Masa de Recipiente						
Masa de Recipiente + Suelo Húmedo						
Masa Recipiente + Suelo Seco						
N° De Golpes						
Cantidad mínima requerida LL:20g/LP.6g	NO PRENSENTA					
Contenido de Humedad	NO PRENSENTA					

Nota. En la tabla se muestra la determinación de limite liquido de la arena chancada.

3.18. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DURABILIDAD AGREGADO (ARENA NATURAL)

OBEJETIVO O FINALIDAD

Para este análisis, el índice de longevidad obtenido es un indicador que revela la capacidad del agregado para generar finos arcilla nocivos mediante métodos mecánicos de degradación. Este índice es vital para medir la excelencia y robustez de los materiales empleados en la edificación de estructuras.

EQUIPOS

- Recipiente de lavado
- Bandeja
- Agitador mecánico
- Balanza
- Embudo
- Horno
- se usa soluciones de cloruro de calcio.
- Agua destilada.

PREPARACION DE LA MUESTRA

Tipo de prelación: "B"

Muestra de utilizada: Ret. Malla #200

Solución utilizada: cloruro de calcio

Agua utilizada: destillada

Este análisis experimental busca desentrañar cómo un material agregado puede resistir la creación de diminutas partículas al agitarse en agua. Se utilizan técnicas únicas y especializadas para desentrañar minuciosamente las porciones de grosor y delicado de un material pétreo.

PROCEDIMIENTO

Llenamos el cilindro con agua destilada a un nivel de 4 pug.

Vertimos el agregado preparado en el cilindro utilizando el embudo para no desperdiciar el material.

Levantamos con fuerza el fondo del cilindro para expulsar las burbujas de aire y dejamos reposar durante un par de minutos.

La máquina agita durante 30 minutos, cuando finaliza la agitación retiramos el cilindro de agitador y después tamizamos de 75 µm (No. 200). En preparamos otro cilindro debemos de tener 7 ml de solución de cloruro de calcio.

Reposemos el cilindro durante un par de horas, y luego examinamos la parte superior de la suspensión de arcilla en pulg.

CALCULOS

Calcule el índice de durabilidad del agregado

$$Df = \frac{lectura\ de\ arena}{lectura\ de\ arcilla} * 100$$

RESULTADOS

Tabla 25

Determinación del índice de durabilidad arena natural

ETEM	DESCRIPCION	ENSAYOS	
1	Volumen de la muestra ml	85	85
2	Tiempo de Lavado min	2	2
3	Tiempo de Agitación min	10	10
4	Tiempo de Sedimentación min	20	20
5	Temperatura de la Solución (°C)	23	23
6	Altura de Arcila Pulg.	3.9	4.3
	Altura de Arena Pulg.	2.9	3.1
7	Índice de Durabilidad (Df)	75	73
8	**Índice de Durabilidad (Df)**	74	

Nota. En la tabla se muestra la determinación del índice de la durabilidad de la arena natural.

Figura 17

Determinación de durabilidad de agregado arena natural.



Nota. En la figura se muestra la determinación de la durabilidad de la arena natural.

3.19. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DURABILIDAD AGREGADO (ARENA CHANCADA)

Todo el procedimiento es como se indica en el ensayo 16.

CALCULOS

$$Df = \frac{lectura\ de\ arena}{lectura\ de\ arcilla} * 100$$

RESULTADOS

Tabla 26

Índice de durabilidad agregado (arena chancada)

ETEM	DESCRIPCION		ENSAYOS	
1	Volumen de la muestra	ml	85	85
2	Tiempo de Lavado	min	2	2
3	Tiempo de Agitación	min	10	10
4	Tiempo de Sedimentación	min	20	20
5	Temperatura de la Solución	(°C)	23	23
6	Altura de Arcila	Pulg.	3.8	4
	Altura de Arena	Pulg.	2.8	3.2
7	Índice de Durabilidad (Df)		74	80
8	**Índice de Durabilidad (Df)**		77	

Nota. En la tabla se muestra los resultados de índice de durabilidad de la arena chancada.

Figura 18

Determinación del índice de durabilidad de arena chancado.



Nota. En la figura se muestra el ensayo de durabilidad de la arena chancada.

3.20. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ARENA NATURAL

Tamiz: N°200

No presenta

RESULTADOS

Tabla 27

Determinación del limites arena natural

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
DESCRIPCION	1	2	3	1	2	3
Nr. De Recipiente						
Masa de Recipiente						
Masa de Recipiente + Suelo Húmedo						
Masa Recipiente + Suelo Seco						
N° De Golpes						
Cantidad mínima requerida LL:20g/LP.6g	NO PRENSENTA					
Contenido de Humedad	NO PRENSENTA					

Nota. En la tabla se muestra el ensayo realizado determinación de limite líquido.

3.21. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD PIEDRA CHANCADA.

Tamiz: N°200

No presenta

RESULTADOS

Tabla 28

Determinación del limites arena chancada

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
DESCRIPCION	1	2	3	1	2	3
Nr. De Recipiente						
Masa de Recipiente						
Masa de Recipiente + Suelo Húmedo						
Masa Recipiente + Suelo Seco						
N° De Golpes						
Cantidad mínima requerida LL:20g/LP.6g	NO PRENSENTA					
Contenido de Humedad	NO PRENSENTA					

Nota. En la tabla se muestra los resultados del ensayo de límites de arena chancado.

3.22. SALES SOLUBLES TOTALES (ARENA NATURAL)

OBEJETIVO O FINALIDAD

El minucioso escrutinio y la meticulosa cristalización revelarán con exactitud la existencia de cloruros y sulfatos en los materiales pétreos empleados en la edificación. Los áridos utilizados en las mezclas asfálticas poseen la peculiaridad de disolverse en agua, lo que podría mermar la longevidad y solidez de la mezcla. Es crucial elegir meticulosamente los áridos para asegurar la excelencia y el desempeño del suelo.

EQUIPOS

- ✓ Horno
- ✓ Plancha de calentamiento
- ✓ Balanza calibrada
- ✓ Matraz aforado
- ✓ Mechero
- ✓ Vaso precipitado
- ✓ Tubo de ensayo
- ✓ Pipitas
- ✓ Cloruro de sodio
- ✓ Agua destilada

PREPARACION DE LA MUESTRA

La cantidad de agregado se ajusta para arena 100 gramos

PROCEDIMIENTO

1. Secamos el agregado en horno a 110 °C se registra como dato A.
2. Colocamos el agregado en vaso precipitado y agregamos agua destilada hasta cubrir 3 cm respecto al nivel de la nuestra, calentamos hasta ebullición del agua.
3. Agitamos durante 1 minuto y repitamos la agitación cuatro veces durante 10 minutos.
4. Esperamos que se decante 10 minutos hasta que se vuelva claro.
5. Repitamos los pasos 2 y 4 hasta que no hay sales.
6. Enfriamos y vaciamos en matraz aforado para registrar como dato B.
7. Se toma las alícuotas 50 y 100ml. Registramos como dato C
8. Cristalizamos en horno y registramos el peso como D.

CALCULOS

$$sales\ solubles\ (\%) = \frac{1}{\frac{C * A}{D * B} - 1} + 100$$

RESULTADOS

Tabla 29

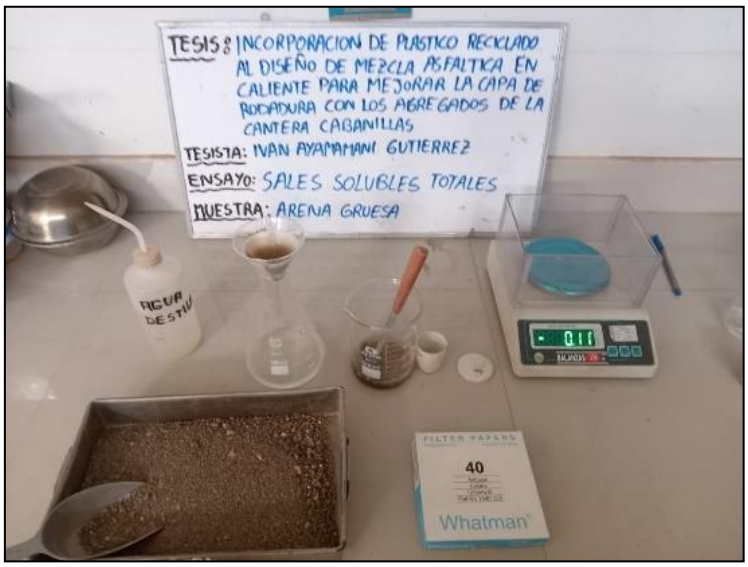
Descripción sales solubles totales arena natural

ITEM	DESCRIPCION		ENSAYOS	
1	Peso Tarro (Biker 100ml)	ml	40.52	40.52
2	Peso de Tarro + Agua + Sal	gr.	135.42	132.18
3	Peso de Tarro Seco + Sal	gr.	40.59	40.61
4	Peso de Sal	gr.	0.07	0.09
5	Peso de agua	gr.	94.83	91.57
6	Contenido de Sales Solubles	%	0.07	0.1
7	Totales	ppm	738.16	982.85
8	**PONDERADO**	**%**	**0.09**	
9		**ppm**	**860.51**	

Nota. En la tabla se describe los resultados de sale solubles totales de la arena natural.

Figura 19

Determinación de sales solubles totales



Nota. En la figura se muestra la realización del ensayo de determinación de sales solubles totales de la arena natural.

3.23. SALES SOLUBLES TOTALES (ARENA CHANCADA)

OBEJETIVO O FINALIDAD

Determinamos si los agregados contienen cloruro de sodio.

Se utilizan los mismos equipos, la preparación y el procedimiento que el ensayo 22.

CALCULOS

$$sales\ solubles\ (\%) = \frac{1}{\frac{C * A}{D * B} - 1} + 100$$

RESULTADOS

Tabla 30

Determinación de sales solubles totales de arena chancada

ITEM	DESCRIPCION		ENSAYOS	
1	Peso Tarro (Biker 100ml)	ml	40.52	40.52
2	Peso de Tarro + Agua + Sal	gr.	131.75	130.46
3	Peso de Tarro Seco + Sal	gr.	40.62	40.61
4	Peso de Sal	gr.	0.10	0.09
5	Peso de agua	gr.	91.13	89.85
6	Contenido de Sales Solubles	%	0.11	0.10
7	Totales	ppm	1097.33	1001.67
8	**PONDERADO**	**%**	**0.10**	
9		**ppm**	**1049.50**	

Nota: en la tabla se muestra los resultados del ensayo de determinación de sales solubles totales de arena chancada.

3.24. DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO Y ADSORCION DEL AGREGADO FINO (ARENA NATURAL)

OBEJETIVO O FINALIDAD

Este análisis minucioso explora con precisión la densidad relativa, también conocida como peso específico, y la capacidad de absorción de los materiales finos empleados en la edificación y la ingeniería civil. La densidad relativa, una magnitud adimensional esencial en ingeniería y ciencia de materiales, se manifiesta de múltiples formas dependiendo del estado de la muestra: horneado, saturado de superficie seca o como densidad relativa aparente.

EQUIPOS

- ✓ Picnómetro
- ✓ Balanza
- ✓ Matraz
- ✓ Molde y pisón para la prueba de humedad

PREPARACION DE LA MUESTRA

Por favor, tome una muestra representativa del agregado conforme a las directrices técnicas de la Práctica D75. Es importante que la muestra se mezcle correctamente y se reduzca conforme a los procedimientos detallados en la Práctica, para lograr un espécimen de prueba que pese alrededor de 1 kilogramo.

PROCEDIMIENTO

Al realizar el ensayo con la mesología gravimétricamente de 9.2 o con la metodología volumétrica de 9.3. trabajar en el ensayo con todas las masas de 0.1 g. 9.2. o procedimientos gravimétricos.

Llenamos al picnómetro parcialmente el picnómetro con agua.

Ingresar meticulosamente en el picnómetro una porción de 500 a 610 gramos de árido fino previamente saturado y completamente seco, conforme a las instrucciones detalladas de la Sección 8 del manual. Ahora, introduce un adicional de agua en el picnómetro hasta que alcance aproximadamente el 90 % de su capacidad total. Agita el picnómetro con delicadeza, siguiendo las instrucciones minuciosas.

Al girar delicadamente, inclinar con meticulosidad o manipular con maestría el picnómetro, se pueden eliminar las diminutas burbujas de aire que puedan esconderse en su interior. Frecuentemente, se calcula que se requieren entre 15 y 20 minutos para eliminar con éxito las burbujas de aire mediante métodos manuales. Diversas investigaciones científicas han revelado con rotundidad que sumergir la punta de una toalla en el picnómetro se transforma en un tesoro invaluable para dispersar la espuma que a veces emerge al eliminar las burbujas de aire. Si es imprescindible, se puede utilizar un poco de alcohol isopropílico para dispersar la espuma con mayor eficacia.

El picnómetro debe ser agitado meticulosamente con una vibración externa suave para evitar cualquier deterioro en la muestra. Un grado de agitación meticulosamente calibrado para agitar únicamente partículas específicas es perfecto para agilizar la desaireación y evitar cualquier tipo de deterioro en el producto final. Un agitador mecánico será válido para su uso si las comparaciones mensuales revelan diferencias menores que el umbral de dos resultados (d2) establecido en la Tabla, en contraste con los resultados obtenidos por agitación manual sobre el mismo material.

Tras eliminar minuciosamente las burbujas de aire del picnómetro, es crucial ajustar con exactitud la temperatura del dispositivo y su contenido a 23,0

± 2,0 grados Celsius, posiblemente mediante una inmersión parcial en un baño de agua fresca, para garantizar que el líquido en el picnómetro alcance su capacidad de calibración. Calcula y documenta el peso total del picnómetro, abarcando tanto al ejemplar como al líquido que lo envuelve.

Retirar la fina materia del recipiente picnómetro, secarla en el horno hasta alcanzar una solidez uniforme a una temperatura de aproximadamente 110 ± 5 grados Celsius (230 ± 9 grados Fahrenheit), y luego dejarlo enfriar a temperatura ambiente durante una media hora y, por último, calcular la masa obtenida.

RESULTADOS

Tabla 31

Determinación del peso específico y adsorción de arena natural

	IDENTIFICACION	**1**	**2**	
A	Peso mat. Sat.Sup.seca (SSS)	500	500	
B	Peso Frasco + Agua	709.6	709.6	
C	Peso Frasco + Agua + Muestra SSS	1013.8	1013.8	
D	Peso del Mat. Seco	486.3	486.3	**PROMEDIO**
Pe Bulk (Base Seca)		2.48	2.48	**2.48**
Pe Bulk (Base Saturado)		2.55	2.55	**2.55**
Pe Aparente		2.67	2.67	**2.67**
% Absorción =100+((A-D)/D)		2.8	2.8	**2.80**

Nota. En la tabla se muestra la determinación del peso específico y adsorción en la arena natural.

Figura 20

Peso específico y adsorción



Nota. En la figura se muestra el ensayo del peso específico y adsorción.

3.25. DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO Y ADSORCION DEL AGREGADO FINO (ARENA CHANCADA)

En este ensayo tiene el mismo objetivo, se utiliza los mismos equipos es ídem que el ensayo 23.

CALCULOS

$$\%\, Adsorcion = 100 * \left(\frac{A - D}{D}\right)$$

RESULTADOS

Tabla 32

Determinación del peso específico y adsorción del agregado fino de arena chancada.

	IDENTIFICACION	1	2	
A	Peso mat. Sat.Sup.seca (SSS)	500	500	
B	Peso Frasco + Agua	709.6	709.6	
C	Peso Frasco + Agua + Muestra SSS	1018	1030.3	
D	Peso del Mat. Seco	492.3	512	**PROMEDIO**
Pe Bulk (Base Seca)		2.57	2.57	**2.57**
Pe Bulk (Base Saturado)		2.61	2.61	**2.61**
Pe Aparente		2.68	2.68	**2.68**
% absorción =100+((A-D)/D)		1.6	1.6	**1.60**

Nota. En la tabla se muestra los resultados del ensayo peso específico y adsorción del agregado fino de arena chancada.

Figura 21

Peso específico y adsorción



Nota. En la figura se aprecia el ensayo de peso específico y adsorción de arena chancada.

3.26. DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE (MAC-2)

3.26.1. Análisis Granulométrico Por Tamizado (Piedra Chancada 1/2)

Una muestra de agregado seco de masa calibrada se somete a una minuciosa danza de tamices con aberturas de tamaño descendente, con el fin de desentrañar con precisión las dimensiones de las partículas ocultas en el material.

OBEJETIVO O FINALIDAD

En esta investigación se explora la danza de dimensiones de los agregados a través del uso de microscopios.

EQUIPOS

- ✓ Balanza con precisión. - Para agregados finos, legibles hasta 0,1 g y precisos hasta 0,1 g o 0,1 % de la carga de prueba.
- ✓ Tamiz ¾",1/2", 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°80, N°100, N° 200.
- ✓ Brocha
- ✓ cepillo
- ✓ Horno
- ✓ Platos y bandejas pequeñas.
- ✓ PREPARACION DE LA MUESTRA
- ✓ Peso inicial: 3000.00
- ✓ Peso lavado: 2990.20
- ✓ Obtenemos la muestra por cuarteo hasta tener la muestra representativa de 3000.00 Kg.

PROCEDIMIENTO

- ✓ Pesamos el material para el ensayo 3000 kg.
- ✓ Saturamos en agua el agregado pesado por un periodo de 8 horas

- ✓ Se lava el agregado por la malla N°200, secamos en horno el agregado 16 a 18 horas.
- ✓ Alistamos los tamices para tamizar el agregado seco ordenadamente.
- ✓ Agitamos entre 5 a 10 minuto y pesar en cada malla retenido.

RESULTADOS

Tabla 33

Análisis granulométrico por tamizado

ABERTURA MALLA	T-27(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	1148.6	38.3	38.3	61.7
3/8"	9.500	843.4	28.1	66.4	33.6
Nº 4	4.750	980.7	32.7	99.1	0.9
Nº10	2.000	17.5	0.6	99.7	0.3
N°20	0.850	0.0	0.0	99.7	0.3
Nº 40	0.425	0.0	0.0	99.7	0.3
N°80	0.180	0.0	0.0	99.7	0.3
N°100	0.150	0.0	0.0	99.7	0.3
Nº 200	0.075	0.0	0.0	99.7	0.3
> Nº 200	FONDO	9.8	0.3	100.0	0.0

Nota. La tabla especifica el ensayo de análisis granulométrico por tamizado.

Figura 22

Analices granulométrico



Nota. En la figura se muestra el análisis granulométrico por tamizado por tamizado.

3.26.2. análisis granulométrico por tamizado (arena chancada)

Este ensayo busca desentrañar, mediante la utilización de una gama de tamices conforme a las directrices pertinentes, la estructura de un agregado fino en una muestra previamente seca cuyo peso es conocido.

La meta del experimento es desentrañar con exactitud la secuencia de dimensiones de partículas de los agregados atrapados en cada una de las mallas de tamizaje. El hallazgo se emplea para determinar la distribución granulométrica

necesaria en la creación de las mezclas asfálticas, un pilar esencial para asegurar la excelencia y longevidad de los caminos.

En caso de equipos y materiales es lo mismo que el ensayo 25, solo cambia los agregado retenidos por la malla N°4, N°10, N°20, N°40,N°80,N°100,N°200 y la cantidad utilizado para el ensayo es de 500 gramos cuando hemos lavado tenemos el peso de 446.80 gramos.

Tabla 34

Análisis granulométrico por tamizado

ABERTURA MALLA	T-27(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0
Nº 4	4.750	25.1	5.0	5.0	95.0
Nº10	2.000	171.1	34.2	39.2	60.8
N°20	0.850	109.6	21.9	61.2	38.8
Nº 40	0.425	62.4	12.5	73.6	26.4
N°80	0.180	50.5	10.1	83.7	16.3
N°100	0.150	9.7	1.9	85.7	14.3
Nº 200	0.075	18.4	3.7	89.4	10.6

Nota. En la tabla se muestra el análisis granulométrico por tamizado arena chancada.

Figura 23

Analices granulométrico



Nota. En la figura se puede ver el ensayo de análisis granulométrico por tamizado arena chancada.

3.26.3. Análisis granulométrico por tamizado (arena natural)

En este ensayo también terminados la distribución granulométrica para saber la gradación de la arena natural. Se terminar la graduación de la arena natural para emplear en el diseño de mezcla asfáltica en caliente con los resultados diseñaremos nuestra mezcla.

Con referente a los equipos utilizados en este ensayo son ídem que el ensayo 25, se emplea una muestra de 500 gramos sin lavar, la muestra lavada

es de 481.80 y las mallas que han retenidos los agregados son N°4, N°10, N°20, N°40, N°80, N°100, N°200.

Tabla 35

Análisis granulométrico por tamizado

ABERTURA MALLA	AASHTO T-27(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0
Nº 4	4.750	60.7	12.1	12.1	87.9
Nº10	2.000	116.6	23.3	35.5	64.5
N°20	0.850	104.8	21.0	56.4	43.6
Nº 40	0.425	81.9	16.4	72.8	27.2
N°80	0.180	87.0	17.4	90.2	9.8
N°100	0.150	13.0	2.6	92.8	7.2
Nº 200	0.075	17.8	3.6	96.4	3.6
> Nº 200	FONDO	18.2	3.6	100.0	0.0

Nota. En la tabla se aprecia el ensayo de análisis granulométrico por tamizado.

Figura 24

Analices granulométrico



Nota. En la figura se realiza el ensayo de análisis granulométrico por tamizado de arena chancada.

3.26.4. Análisis granulométrico por tamizado filler silico

Realizamos los análisis granulométricos de FILLER en español (relleno mineral) utilizaremos como agregado para completar los finos para el diseño de pavimentos en nuestra investigación como material de construcción.

LOS EQUIPOS QUE SE HAN UTILIZADOS

- ✓ Balanza con precesión
- ✓ Tamices N°200, N°100, N°80, N°40, N°20
- ✓ Horno capaz de mantener la temperatura 110° a 5°C

MUESTRA

De acuerdo a las especificaciones se debe utilizar como mínimo 100 gamos de material seco para emplear en el diseño de mezclas.

En nuestro ensayo se ha utilizado 200 gramos de filler se ha llevado al horno a una temperatura constante de 110°C pesado con precisión.

Después de sacar del horno alistamos los tamices mencionados para lavar el material con agua hasta que por intermedio de los tamices el agua que salga claro con la ayuda del gripo de agua y con una bombilla cuidadosamente, secamos el residuo de cada tamiz en el horno y calculamos la masa de cada tamiz retenido como el porcentaje de la original para luego tener para la granulometría.

Se debe tener cuidado con la acumulación del agua en la malla N°200, se obstruye cuando se está lavando hay se puede cometer errores.

Tabla 36

Análisis granulométrico por tamizado

ABERTURA MALLA		PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
	T-27(mm)				
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0
Nº 4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
Nº10	2.000	0.0	0.0	0.0	100.0
N°20	0.850	0.0	0.0	0.0	100.0
Nº 40	0.425	0.0	0.0	0.0	100.0
N°80	0.180	0.0	0.0	0.0	100.0
N°100	0.150	0.1	0.1	0.1	100.0
Nº 200	0.075	1.2	0.6	0.7	99.4

Nota. En la tabla se muestra los resultados del ensayo análisis granulométrico por tamizado filler silico.

3.26.5. Análisis granulométrico por tamizado PET

Este ensayo se realiza cumpliendo con la normativa y el instituto de asfalto en donde indica o da una referencia corta de las mezclas asfálticas modificadas sobre el tamiz utilizable menores a los 6 milímetros para el diseño MAC.

Para realizar el tamizado se ha recogido el tereftalato de polipropileno (PET) todos estos materiales son reciclados en su mayoría botellas de gaseosas que han sido desechados por los consumidores. Después de juntar y lavar una cantidad de 4 kilos de botellas PET se ha llevado a la trituradora de plásticos reciclados en la ciudad de Juliaca en un tamaño menores a 6 milímetros indicados para su trituración respectivo.

Después de ser triturados se levo al laboratorio de suelos y pavimento para realizar el análisis granulométrico para su respectivo diseño. Al realizar el tamizaje las que han retenido son N°4, N°10, N°20, N°40, N°80, N°100, N°200.

Tabla 37

Análisis granulométrico por tamizado

ABERTURA MALLA	AASHTO T-27(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0
Nº 4	4.750	4.2	0.8	0.8	99.2
Nº10	2.000	38.8	7.8	8.6	91.4
N°20	0.850	373.9	74.8	83.4	16.6
Nº 40	0.425	68.7	13.7	97.1	2.9
N°80	0.180	10.5	2.1	99.2	0.8
N°100	0.150	3.2	0.6	99.9	
Nº 200	0.075	0.7	0.1	100.0	0.0

Nota. En la tabla se muestra el análisis granulométrico por tamizado de Pet.

Figura 25

Analices granulométrico



Nota. En la figura se muestra el ensayo de análisis granulométrico por tamizado de pet.

3.26.6. Análisis granulométrico por tamizado (combinación teórica de agregados)

En esta etapa del proceso, se lleva a cabo un examen meticuloso de la sinfonía teórica de los variados agregados, sometidos a los ensayos necesarios para diseñar con precisión la mezcla. Los experimentos llevados a cabo para evaluar esta mezcla abarcan diversos tipos de arena, tales como la de piedra triturada, la de piedra natural y el filler de silíceo. Es crucial asegurarse de que

los componentes mencionados se mantengan en cada tamiz adecuado para la creación de la mezcla asfáltica caliente.

Tabla 38

Análisis granulométrico por tamizado

ABERTURA		**% ACUMULADOS PASANTE**			
MALLA		**M - 01**	**M – 02**	**M - 03**	**M – 04**
	T-27(mm)	**33%**	**30%**	**35.00%**	**2.00%**
1"	25.000	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.500	61.7	100.0	100.0	100.0
3/8"	9.500	33.6	100.0	100.0	100.0
Nº 4	4.750	0.9	95.0	87.9	100.0
Nº10	2.000	0.3	60.8	64.5	100.0
N°20	0.850	0.3	38.8	43.6	100.0
Nº 40	0.425	0.3	26.4	27.2	100.0
N°80	0.180	0.3	16.3	9.8	100.0
N°100	0.150	0.3	14.3	7.2	100.0
Nº 200	0.075	0.3	10.6	3.6	99.4

Nota. En la tabla se muestra los resultados de análisis granulométrico por tamizado (combinación teórica de agregados)

3.26.7. Análisis granulométrico por tamizado (verificación mezcla de agregados)

En esta fase de la edificación, resulta crucial llevar a cabo un análisis minucioso para determinar la proporción exacta de piedra triturada, arena triturada, arena natural y el filler silico que se incorporará a la mezcla. Es crucial

asegurar que cada ingrediente se encuentre en la proporción precisa para alcanzar la robustez y longevidad esperadas en la estructura final. Este meticuloso análisis se realiza con exactitud milimétrica para desentrañar la estructura de la mezcla asfáltica en caliente de tipo MAC-2. Según la tabla número 423-03 del manual de diseño de carreteras, se detallan minuciosamente los criterios para la disposición y alineación de los materiales pétreos, con el fin de asegurar una mezcla asfáltica de excelencia y rendimiento.

Tabla 39

Graduación 423-03

TAMIZ		GRADACION MAC-1		GRADACION MAC-2		GRADACION MAC-3	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
1"	25.000	100		100			
3/4"	19.000	80	100	100	100		
1/2"	12.500	67	85	80	100		
3/8"	9.500	60	77	70	88		100
Nº 4	4.750	43	54	51	68	65	87
Nº10	2.000	29	45	38	52	43	61
Nº 40	0.425	14	25	17	28	16	29
N°80	0.180	8	17	8	17	9	19
Nº 200	0.075	4	8	4	8	5	10

Nota. La tabla muestra los parámetros de diseño MAC – 2 según el anual de carreteras EG-2013

Tabla 40

Analices granulométrico

ABERTURA MALLA	AASHTO T-27(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	GRADACION MAC-2 MIN	GRADACION MAC-2 MAX
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1/2"	12.500	526.0	13.2	13.2	86.9	80	100
3/8"	9.500	442.0	11.1	24.2	75.8	70	88
Nº 4	4.750	592.0	14.8	39.0	61.0	51	68
Nº10	2.000	753.0	18.8	57.8	42.2	38	52
N°20	0.850	523.0	13.1	70.9	29.1	25	40
Nº 40	0.425	412.0	10.3	81.2	18.8	17	28
N°80	0.180	302.0	7.6	88.8	11.3	8	17
N°100	0.150	122.0	3.1	91.8	8.2	7	15
Nº 200	0.075	92.0	2.3	94.1	5.9	4	8

Nota. La tabla especifica la combinación del analices granulométrico para el diseño de MAC-2.

3.27. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (PATRON)

MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Esta técnica se fundamenta en la mezcla caliente de piedra y ligantes asfálticos, garantizando así la excelencia indispensable para la creación de mezclas asfálticas. Marshall propone este método exclusivamente para mezclas asfálticas en caliente que utilicen cementos asfálticos particulares y tengan agregados cuyas dimensiones no superen los 25,0 mm (1 pulgada) o sean inferiores. La metodología sugerida puede ser empleada tanto en la investigación

como en la observación en escenarios cotidianos en el ámbito de la edificación de carreteras con asfalto caliente.

En este ensayo, realizaremos un minucioso estudio para identificar el contenido ideal de cemento asfáltico para la creación de nuestra mezcla asfaltica habitual.

EQUIPOS

- ✓ Bandejas
- ✓ Jarras metálicas
- ✓ Cucharones
- ✓ Termómetro
- ✓ Ollas para el asfalto
- ✓ Espátula grande
- ✓ cuchara grande
- ✓ horno
- ✓ tazas de todo tamaño

El molde de compactación se compone de una placa base robusta, una extensión de collar ajustable, un martillo de alta precisión, un portamoldes ergonómico para especímenes de diversas dimensiones, discos de papel absorbentes para mantener la muestra en su sitio, un extractor de moldes con gata para una extracción sencilla, guantes de soldador resistentes al calor, un barbijo protector, guantes de goma para baño maría que aseguran un manejo seguro, un corrector para escribir los datos, un lápiz de tinta resistente y un lápiz para marcar muestras.

Preparamos cuatro muestras con porcentajes de agregados, el cemento asfaltico varia con incremento de 0.5 por ciento

Agregados: peso total de 1200 gr.

Piedra chancada ½": 33.0%

Arena Chancada ¼": 30.0%

Arena Natural: 35.0%

Estas proporciones se aplicarán a los cuatro especímenes:

Cemento asfaltico para la primera muestra es de: 5.50%

Cemento asfaltico para la segunda muestra es de: 6.00%

Cemento asfaltico para la tercera muestra es de: 6.50%

Cemento asfaltico para la cuarta muestra es de: 7.00%

Preparamos meticulosamente cuatro muestras para cada mezcla particular, garantizando que el asfalto y el agregado se calienten en un horno específico durante tres horas. Asimismo, un equipo de cocina debe lograr una temperatura de 140°C para asegurar que ambos componentes estén a punto de calentarse. Es crucial fusionar de manera uniforme cada muestra con su correspondiente cemento asfáltico para alcanzar los resultados esperados.

Tras el lapso requerido en el horno, nos lanzamos a preparar el molde y desinfectar el martillo con esmero. Posteriormente, calentamos el agua en una olla hasta que se torne transparente. Posteriormente, calentamos el molde y el martillo entre los 95 y 110°C. Posteriormente, incorporamos el papel filtro y depositamos la muestra inicial en el cuello del molde. Mezclamos 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces al interior, removiendo de forma circular para mantener la temperatura en su equilibrio ideal. A continuación, ejecutamos 75 impactos con el martillo de compactación en caída libre, retiramos el martillo y la base del collar para revertir el procedimiento. Reemplazamos el molde con su papel y ejecutamos otra vez 75 golpes. Al finalizar la compactación, retiramos

con meticulosidad la placa base y los discos de papel. A continuación, dejamos que los especímenes se enfríen a la temperatura de la casa. Este mismo procedimiento se replica para los espécimenes siguientes, tercero y cuarto.

PROCEDIMIENTO PARA LA PRUEBA

Cada espécimen ensayado y compactado sometemos a las siguientes pruebas y análisis en el orden mencionado a continuación.

1. Determinamos la altura de cada espécimen
2. Determinación de densidad aparente
3. Estabilidad y flujo de cada espécimen
4. Densidad y análisis de los huecos en cada espécimen

Registramos la altura de cada espécimen sacamos tres medidas y promediamos las medidas por cada espécimen.

Pesamos y notamos cada espécimen

sumergimos al agua a 20°C registramos peso sumergido

Después secamos con una franela y anotamos el peso superficialmente seco

3.3estabilidad y flujo

Calentamos el agua a 60°C y ponemos la mordaza por un periodo tiempo y controlamos la temperatura mencionada.

Poner los especímenes en baño maría a 60°C por 30 minutos, pasado el tiempo sacamos para llevarlo de estabilidad Marshall.

Colocamos el espécimen uno por uno a la mordaza y llevamos a la maquina Marshall prendemos, compensamos con el ensayo registramos la estabilidad y deformación se anota en el momento en que falla el espécimen esto se realiza por igual para cada muestra.

3.28. DENSIDAD Y ANÁLISIS DE LOS HUECOS EN CADA ESPÉCIMEN (RICE)

Después de realizar el ensayo Marshall, pasamos al ensayo rice para ello pesamos el material 1500 kg de espécimen.

Calibramos con agua el rice y registramos el peso

Luego ponemos espécimen y echamos agua hasta que tape por completo el espécimen por lo menos más de la mitad del frasco.

Tomamos la temperatura ambiente del agua.

Predemos el rice y esperamos hasta que se pierda por completo las burbujas de aire.

Al terminar enrazamos con el agua, pesamos el frasco con el material, agua y registramos el peso.

3.28.1. Diseño de mezcla asfáltica en caliente

En esta sección se despliegan minuciosamente los hallazgos de los experimentos realizados para identificar el contenido ideal de cemento asfáltico. Con la adición de 5.50% de cemento asfaltico tenemos los siguientes resultados:

Tabla 41

Cuadro resumen de cemento asfaltico 5.50%

Numero de Especímenes	Und.	1	2	3	Promedio
% C.A. en peso de la Mezcla	**%**	**5.5**	**5.5**	**5.5**	
Estabilidad corregida	Kg.	760	797	810	789
Flujo	mm	3.89	4.75	4.27	4.30
% de Vacíos	%	7.7	7.9	6	7.2

Nota. En la tabla se especifica el resumen de cemento asfaltico de 5.50%

Con la adición de 6.00% de cemento asfaltico tenemos los siguientes resultados:

Tabla 42

Cuadro resumen de cemento asfaltico 6.00%

Numero de Especímenes	Und.	1	2	3	Promedio
% C.A. en peso de la Mezcla	**%**	**6**	**6**	**6**	
Estabilidad corregida	Kg.	1400	1392	1393	1395
Flujo	Mm	8.51	8.56	8.23	8.43
% de Vacíos	%	6	6.1	6	6.03

Nota. En la tabla se muestra el resumen de cemento asfaltico 6.00%.

Con la adición de 6.50% de cemento asfaltico tenemos los siguientes resultados:

Tabla 43

Cuadro resumen de cemento asfaltico 6.50%

Numero de Especímenes	Und.	1	2	3	Promedio
% C.A. en peso de la Mezcla	**%**	**6.5**	**6.5**	**6.5**	
Estabilidad corregida	Kg.	1562	1438	1445	1481.67
Flujo	mm	9.45	9.37	9.65	9.49
% de Vacíos	%	4.2	4.2	4.4	4.27

Nota. En la tabla se muestra los resultados con la adición de cemento asfaltico 6.50%.

En esta minuciosa evaluación, se confirma que el producto satisface todas las exigencias, exhibiendo una asombrosa estabilidad de 1481.67 kilogramos. Asimismo, un flujo de 9.49 revela un rendimiento excepcional. Además, el 4.27% de los espacios vacíos revela una excelencia en la estructura. Es crucial destacar que este grado de vacíos se considera ideal en el contenido de asfalto, siguiendo el esquema establecido para asegurar la eficiencia del producto final.

Con la adición de 7.00% de cemento asfaltico tenemos los siguientes resultados:

Tabla 44

Cuadro resumen de cemento asfaltico 7.00%

Numero de Especímenes	Und.	1	2	3	Promedio
% C.A. en peso de la Mezcla	**%**	**7**	**7**	**7**	
Estabilidad corregida	Kg.	1474	1189	1147	1270
Flujo	mm	10.4	10.8	10.87	10.69
% de Vacíos	%	2.5	4.1	2.7	3.1

Nota. En la tabla que se tiene se muestra los resultados del cemento asfaltico 7.00%.

3.28.2. Peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica para pavimentos

Con los datos obtenidos en el laboratorio tenemos los siguientes resultados con la prueba de RICE: 5.50 C.A.

Tabla 45

Peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica para 5.50% de C.A.

Identificación Muestra		**Unid.**	**1**
1	Peso del material	gr.	1500
2	Peso agua + frasco	gr.	6798
3	Peso agua + frasco + material	gr.	8298
4	Peso agua + frasco + material (ensayo)	gr.	7662
5	Volumen	gr.	636
Peso Específico Máximo MAC, g/cm3		g/cm3	2.358

Nota. En la tabla se tiene los resultados del ensayo rice 5.50% de C.A.

Peso específico máximo MAC, = 2.358 g/cm3

RICE: 6.00 C.A.

Tabla 46

Peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica para 6.00% de C.A.

Identificación Muestra		**Unid.**	**1**
1	Peso del material	gr.	1500
2	Peso agua + frasco	gr.	6798
3	Peso agua + frasco + material	gr.	8298
4	Peso agua + frasco + material (ensayo)	gr.	7658
5	Volumen	gr.	640
Peso Específico Máximo MAC, g/cm3		g/cm3	2.344

Nota. En la tabla se muestra los resultados de rice 6.00% de cemento asfaltico.

Peso específico máximo MAC, = 2.344 g/cm3

RICE: 6.50 C.A.

Tabla 47

Peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica para 6.50% de C.A

Identificación Muestra		**Unid.**	**1**
1	Peso del material	gr.	1865
2	Peso agua + frasco	gr.	6798
3	Peso agua + frasco + material	gr.	8663
4	Peso agua + frasco + material (ensayo)	gr.	7859
5	Volumen	gr.	804
Peso Específico Máximo MAC, g/cm3		g/cm3	2.320

Nota. En la tabla se muestra los resultados de rice de 6.50 cemento asfaltico.

Peso específico máximo MAC, = 2.320 g/cm3

RICE: 7.00 C.A.

Tabla 48

Peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica para 7.00% de C.A.

Identificación Muestra		Unid.	1
1	Peso del material	gr.	1859.8
2	Peso agua + frasco	gr.	6798
3	Peso agua + frasco + material	gr.	8657.8
4	Peso agua + frasco + material (ensayo)	gr.	7851
5	Volumen	gr.	806.8
Peso Específico Máximo MAC, g/cm3		g/cm3	2.305

Nota. En la tabla se tiene los resultados de rice para 7.00% de cemento asfaltico.

Peso específico máximo MAC, = 2.305 g/cm3

3.28.3. Determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico

Al terminar el ensayo, procesando los datos tenemos como optimo de cemento asfaltico de 6.44% según las curvas de peso unitario, vacíos agregado mineral, flujo, factor de estabilidad, vacíos % y la estabilidad.

Tabla 49

Determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico según los resultados obtenidos.

TABLA AUXILIAR PARA MODO GRAFICO	
% Cemento Asfaltico en peso	6.44%
Aditivo	…...
Peso específico Probeta	2.217
Vacíos	4.62
vacíos Agregado Mineral	17.84
vacíos Llenados con C. Asfaltico	14.15
Flujo	9.78
Estabilidad	1518
Factor de rigidez	3920

Nota. En la tabla se puede evidenciar los resultados del porcentaje optimo de demento asfaltico para el diseño de mezcla asfaltico.

3.29. DISEÑO MAC-2 CON ADICION DE PET

3.29.1. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con adición de PET al 1%,2%,3%

MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

En esta meticulosa exploración sobre el cambio del cemento asfáltico, se emplea el diseño ideal del cemento asfáltico establecido en el diseño clásico. Este minucioso procedimiento asegura la excelencia y la longevidad de la mezcla, garantizando un rendimiento excepcional bajo las inclemencias del tráfico y las inclemencias del clima. En esta fase del proceso, se incorpora diversas porciones de PET reciclado para determinar el grado ideal de PET en la composición del asfalto caliente. A continuación, el ensayo Marshall desentraña minuciosamente el proceso de diseño.

En esta investigación científica, realizaremos un minucioso estudio para determinar el porcentaje ideal de plástico reciclado de tipo PÉT que debe integrarse en la mezcla asfáltica que estamos creando.

EQUIPOS

- ✓ Bandejas
- ✓ Jarras metálicas
- ✓ Cucharones
- ✓ Termómetro
- ✓ Ollas para el asfalto
- ✓ Espátula grande
- ✓ cuchara grande
- ✓ horno

✓ tazas de todo tamaño

El molde de compactación se compone de una placa base robusta, una extensión de collar ajustable, un martillo de alta precisión, un portamoldes ergonómico, discos de papel absorbente de alta densidad, un extractor de moldes con gata para agilizar el proceso, guantes de soldador resistentes al calor, un barbijo de protección, guantes de goma diseñados para baño maría, un corrector líquido para corregir posibles errores, un lápiz de grafito resistente y un lápiz de grafito de larga duración.

Preparamos nueve muestras con porcentajes de agregados según el esquema establecido, donde el plástico reciclado se despliega en 1%, 2% y 3%. Los porcentajes de PET reciclado han sido minuciosamente determinados a partir del peso de los agregados empleados en la creación de la mezcla asfáltica alterada.

✓ Agregados: peso total 1200 gramos

✓ % Cemento asfaltico: 6.44%

✓ % PET 1,2 y 3%

✓ Piedra chancada ½": 33.0%

✓ Arena Chancada ¼": 30.0%

✓ Arena Natural: 35.0%

✓ Feller: 2.00%

✓ Estas proporciones se aplicarán a los nueve especímenes:

✓ PET para la primera muestra es de: 1%

✓ PET para la segunda muestra es de: 2%

✓ PET para la tercera muestra es de: 3%

Preparamos nueve especímenes para cada combinación y el contenido de asfalto, el agregado, PET y asfalto se calientan en hormo durante 3 horas y también con la ayuda de cocina a una temperatura de 140°C deben de estar calientes ambos, mezcla homogéneamente cada espécimen con su cemento asfaltico.

Pasado el tiempo en el horno preparamos el molde y el martillo limpiamos. Después calentamos en una olla hasta hervir el agua introducimos el molde y martillo a una temperatura de 95 a 110°C, colocamos el papel filtro, pasamos a colocar la primera muestra al cuello del molde, mezclamos 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces al interior, Remuevo con delicadeza, garantizando una temperatura homogénea. Ejecutamos 75 golpes con el martillo de compactación en una caída libre controlada, retiramos con exactitud el martillo y la base del collar para revertir la operación. Colocamos meticulosamente el molde con su papel protector y repetimos los 75 golpes necesarios para finalizar el proceso. Al concluir la compactación, meticulosamente retiramos la placa base y los discos de papel. Ahora, dejamos que los especímenes se enfríen lentamente a la temperatura doméstica antes de avanzar hacia el siguiente escenario del experimento. A continuación, se sigue el mismo procedimiento minucioso y riguroso para el segundo, tercer y cuarto espécimen.

Procedimiento para la prueba

Cada espécimen ensayado y compactado sometemos a las siguientes pruebas y análisis en el orden mencionado a continuación.

1. Determinamos la altura de cada espécimen
2. Determinación de densidad aparente
3. Estabilidad y flujo de cada espécimen

4. Densidad y análisis de los huecos en cada espécimen

Registramos la altura de cada espécimen sacamos tres medidas y promediamos las medidas por cada espécimen.

Pesamos y notamos cada espécimen

Sumergimos al agua a 20°C registramos peso sumergido

Después secamos con una franela y anotamos el peso superficialmente seco

3.29.2. Estabilidad y flujo

Calentamos el agua a 60°C y ponemos la mordaza por un periodo tiempo y controlamos la temperatura mencionada.

Poner los especímenes en baño maría a 60°C por 30 minutos, pasado el tiempo sacamos para llevarlo de estabilidad Marshall.

Clocamos el espécimen uno por uno a la mordaza y llevamos a la maquina Marshall prendemos, comenzamos con el ensayo registramos la estabilidad y deformación se anota en el momento en que falla el espécimen esto se realiza por igual para cada muestra.

3.29.3. Densidad y análisis de los huecos en cada espécimen (RICE)

Después de realizar el ensayo Marshall, pasamos al ensayo rice para ello pesamos el material 1500 kg de espécimen.

Calibramos con agua el rice y registramos el peso

Luego ponemos espécimen y echamos agua hasta que tape por completo el espécimen por lo menos más de la mitad del frasco.

Tomamos la temperatura ambiente del agua.

Predemos el rice y esperamos hasta que se pierda por completo las burbujas de aire.

Al terminar enrazamos con el agua, pesamos el frasco con el material, agua y registramos el peso.

Tabla 50

PET para la primera muestra es de: 1%

Numero de Especímenes	**Und.**	**1**	**2**	**3**	**Promedio**
% C.A. en peso de la Mezcla	%	6.44	6.44	6.44	
% PET	**%**	**1**	**1**	**1**	
Estabilidad corregida	Kg.	1816	1824	1811	1817
Flujo	Mm	10.97	11.38	11.46	11.27
% de Vacíos	%	4	3.9	4.2	4.03

Nota. En la tabla se muestra los resultados de los ensayos realizados de tres especímenes con la incorporación de 1% de PET.

Tabla 51

PET para la segunda muestra es de: 2%

Numero de Especímenes	**Und.**	**1**	**2**	**3**	**Promedio**
% C.A. en peso de la Mezcla	%	6.44	6.44	6.44	
% PET	**%**	**2**	**2**	**2**	
Estabilidad corregida	Kg.	1506	1503	1580	1529.6667
Flujo	Mm	12.65	13	12.78	12.81
% de Vacíos	%	3.7	3.5	3.9	3.70

Nota. La tabla se tiene los resultados de los tres especímenes ensayados con la adición de 2% de PET.

Tabla 52

PET para la tercera muestra es de: 3%

Numero de Especímenes	**Und.**	**1**	**2**	**3**	**Promedio**
% C.A. en peso de la Mezcla	%	6.44	6.44	6.44	
% PET	**%**	**3**	**3**	**3**	
Estabilidad corregida	Kg.	496	726	795	672.33333
Flujo	Mm	19.43	14.71	9.63	14.59
% de Vacíos	%	3.3	3.7	3.4	3.47

Nota. En la tabla se tiene los ensayos realizados de los tres especímenes con la incorporación de 3% de PET.

3.29.4. Peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica para pavimentos con adición de PET.

Con los datos obtenidos en el laboratorio tenemos los siguientes resultados con la prueba de RICE: 1% PET.

Peso específico máximo MAC, = 2.294 g/cm3

RICE: 2% PET.

Peso específico máximo MAC, = 2.262 g/cm3

RICE: 3% PET.

Peso específico máximo MAC, = 2.209 g/cm3

3.29.5. Determinación del porcentaje optimo de adicción de pet.

Al terminar el ensayo, procesando los datos tenemos como optimo contenido de PET 1% según las curvas de peso unitario, vacíos agregado mineral, flujo, factor de estabilidad, vacíos % y la estabilidad.

Tabla 53

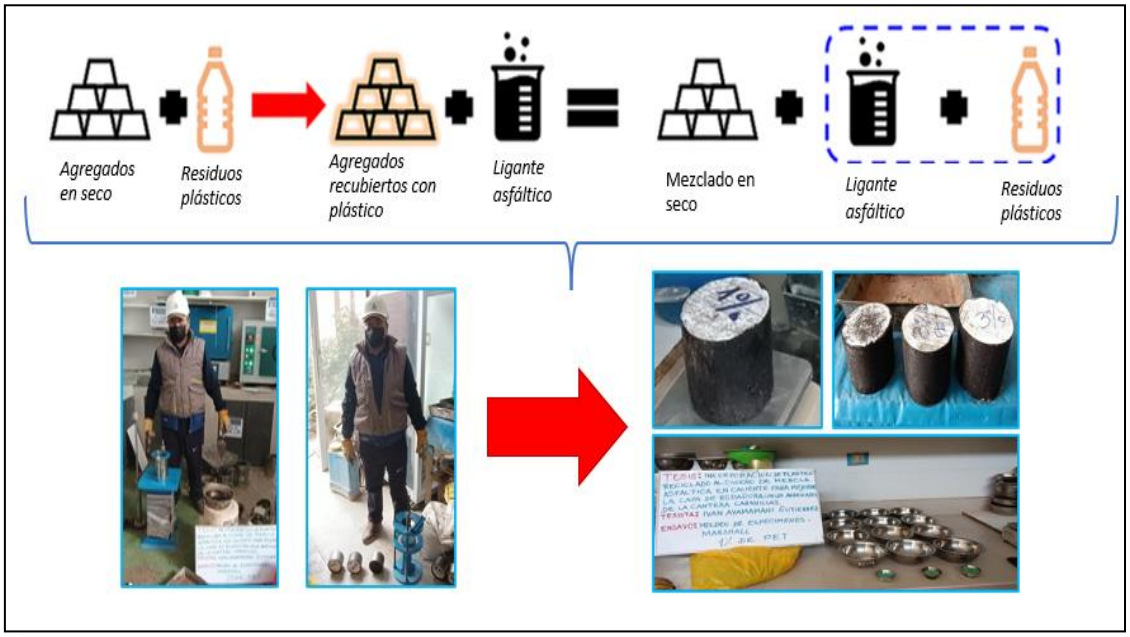
TABLA AUXILIAR PARA MODO GRAFICO

TABLA AUXILIAR PARA MODO GRAFICO	
% Cemento Asfaltico en peso	6.44%
% PET	0.87%
Peso específico Probeta	2.206
Vacíos	4.18
vacíos Agregado Mineral	18.24
vacíos Llenados con C. Asfaltico	77.45
Flujo	11.05
Estabilidad	1691
Factor de rigidez	3828

Nota. En la tabla auxiliar se muestra contenido óptimo de asfalto y el contenido optimo de PET.

Figura 26

Determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico



Nota. En la figura se muestra el esquema seguido para el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN

4.1.1. Análisis E Interpretación De Resultados

PROPIEDADES FÍSICAS DE PIEDRA CHANCADA

Este capítulo presenta el examen y la interpretación de las pruebas realizadas en el presente estudio.

Susceptibilidad a la degradación de gruesos áridos de dimensiones reducidas, atribuible a la abrasión y al impacto en la máquina de los ángeles (Piedra chancada ½").

Tabla 54

Resistencia a la degradación por la máquina de abrasión de los ángeles.

RESULTADOS OBTENIDOS	
Peso inicial de la muestra	5003 gr.
Peso del material retenido malla N°12	3898 gr.
Porcentaje de desgaste del Material	21.10%

Nota. En la tabla se muestra los resultados del ensayo de la resistencia de degradación por la máquina de abrasión de los ángeles.

INTERPRETACIÓN

En la tabla N° 53 se observa que el porcentaje de desgaste del agregado grueso piedra chancada ½" es de 21.10 %, la norma EG 2013 en sus parámetros menciona para altitudes (msnm) para mayores a 3.000 es 35% como máximo en nuestro caso en la región de puno la altitud es mayor, por lo tanto, se cumple con lo que menciona la normativa en la tabla 423-01.

Durabilidad de los agregados al sulfato de magnesio (Piedra chancada ½").

Tabla 55

Resultados de durabilidad de los agregados al sulfato de magnesio.

TAMICES PASA – RETENIDO	PERDIDA DE PESO EN PORCENTAJE
2 1/2" -1 1/2"	
1 1/2" -3/4"	
3/4" - 3/8"	2.18 %
3/8"-N° 4	1.69 %
menores N°4	3.87 %

Nota. En la tabla se muestra los resultados del ensayo realizado durabilidad al sulfato de magnesio de piedra chancada de ½.

INTERPRETACIÓN

En este minucioso estudio sobre la capacidad de los materiales pétreos para resistir el sulfato de magnesio, se revela una merma de un 3.87 % en su masa, tal como se ilustra en la tabla número 54. De acuerdo con la normativa EG 2013, para elevaciones superiores a 3.000 metros sobre el nivel del mar, se permite una pérdida máxima del 15 %, una cifra que se adapta perfectamente a

las circunstancias de nuestra urbe en Puno. Es gratificante verificar que el desenlace del ensayo está en armonía con las normas actuales.

4.1.1.1. Determinación del índice de durabilidad agregado (Piedra chancada ½")

Tabla 56

Resultados del índice de durabilidad

ITEM	DESCRIPCION		ENSAYOS	
1	Volumen de la Muestra	ml	85	85
2	Tiempo de Lavado	min	2	2
3	Tiempo de Agitación	min	10	10
4	Tiempo de Sedimentación	min	20	20
5	Tiempo de la Solución	(°C)	23	23
6	Altura de la sedimentación	pug.	0.6	0.7
7	Índice de Durabilidad		82	80
8	**Índice de Durabilidad (Dc)**		81 %	

Nota. La tabla muestra los resultados del índice de durabilidad.

INTERPRETACIÓN

En la tabla número 55 se detallan minuciosamente los hallazgos del índice de longevidad tras la realización del ensayo, revelando que este índice supera el 81 % para la piedra chancada. De acuerdo con la normativa EG 2013, detallada en la tabla 423-01, se dicta que el índice de durabilidad no debe superar el 35% en altitudes superiores al nivel del mar; sin embargo, en la región de Puno, hemos superado notablemente dicho umbral establecido.

4.1.1.2. Método de ensayo para determinación de partículas chatas y alargadas en agregado grueso (Piedra chancada ½").

Tabla 57

Resultado de partículas chatas y alargadas.

TAMIZ (Pulg)	ABERTURA (mm)	AGREGADO GRUESO		Masa de partículas Chatas	Masa de partículas Alargadas	Masa de partículas Chatas y Alargadas	CHATAS y ALARGADAS(5:1)		
		Masa Retenida Grad. Original	% Retenido				sumatoria	%	(%) CORREGIDO
2"	50.80		0.00				0.00	.	
1 1/2"	38.10		0.00				0.00	.	
1"	25.40	0.00	0.00				0.00	.	
3/4"	19.00	0.00	0.00				0.00	.	
1/2"	12.70	726.30	37.60	8.00		1.70	9.70	1.30	0.50
3/8"	9.50	584.80	30.30	26.40			26.40	4.50	1.40
N°4	4.75	619.50	32.10	19.20	6.00		25.20	4.10	1.30
PESO TOTAL DE LA MUESTRA		1930.60							
	PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN MASA (%)				**3.2**				

TAMIZ (Pulg)	ABERTURA (mm)	AGREGADO GRUESO		Masa de partículas Chatas	Masa de partículas Alargadas	Masa de partículas Chatas y Alargadas	CHATAS y ALARGADAS (5:1)		
		Masa Retenida Grad. Original	% Retenido				sumatoria	%	(%) CORREGIDO
2"	50.80		0.00				0.00	.	
1 1/2"	38.10		0.00				0.00	.	
1"	25.40	0.00	0.00				0.00	.	
3/4"	19.00	0.00	0.00				0.00	.	
1/2"	12.70	185.00	9.60	3.00		1.00	4.00	2.20	0.20
3/8"	9.50	286.00	14.80	25.00			25.00	8.70	1.30
N°4	4.75	908.00	47.00	42.00	9.00		51.00	5.60	2.60
PESO TOTAL DE LA MUESTRA		1379.00							
	PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN MASA (%)				**4.1**				

Nota. La tabla se tiene los resultados de las partículas chatas y alargadas.

INTERPRETACIÓN

De acuerdo con la tabla número 56, se despliegan los hallazgos sobre las partículas planas y alargadas. Se aprecian dos hallazgos divergentes, obtenidos a través de dos técnicas distintas: una mediante la pesaje y otra a través del conteo. Ambos hallazgos se representan en cifras porcentuales. En el ámbito de las partículas planas y alargadas por peso, se registró un 3.2%, mientras que en el ámbito del conteo, se obtuvo un 4.10%. La EG 2013, en su tabla 423-01, establece que para alturas superiores a 3.000 metros sobre el nivel del mar, se permite un 10% de partículas planas y alargadas. En nuestra evaluación, los resultados revelan valores que no superan ese umbral, lo que nos asegura que cumplimos con las exigencias de la normativa.

4.1.1.3. Método de ensayo para determinación de las caras de fractura en agregados grueso (Piedra chancada ½").

Tabla 58

Resultados de caras fracturada de agregados grueso piedra chancada ½".

A. CON UNA CARA FRACTURADA						
TAMAÑO DE AGREGADO		**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
PASA TAMIZ	**RETENIDO EN TAMIZ**	**(g)**	**(g)**	**((B/A)+100)**	**% Retenido**	**C*D**
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	745.5	185.1	24.8	32.1	796
1/2"	3/8"	607.8	170.9	28.1	62.4	1755.4
TOTAL		1353.30	356.00	52.90	94.50	2551.40
PORCENTAJE CON CARA FRACTURADA		**TOTAL E/TOTAL D**	**2551.40/94.50**		**27.00**	**%**
B. CON UNA CARA FRACTURADA						

TAMAÑO DE AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	**RETENIDO EN TAMIZ**	**(g)**	**(g)**	**((B/A)+100)**	**% Retenido**	**C*D**
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	745.5	372.3	49.9	32.1	1601.79
1/2"	3/8"	607.8	288.3	47.4	62.4	2957.76
TOTAL		1353.30	660.60	97.30	94.50	4559.55
PORCENTAJE CON CARA FRACTURADA		**TOTAL E/TOTAL D**	**2551.40/94.50**		**48.3**	**%**

Nota. En la tabla tenemos los resultado de porcentajes de caras fracturadas.

INTERPRETACIÓN

En la tabla número 57, se revela el hallazgo obtenido al examinar las superficies fracturadas de la piedra chancada de 1⁄2 pulgada. En los experimentos llevados a cabo, se descubrió que un 27 % del agregado grueso exhibía una cara fracturada, mientras que un 48.3 % exhibía dos caras fracturadas. Para elevaciones superiores a 3.000 metros sobre el nivel del mar, se adopta una clasificación de presión arterial de 90/70, conocida como presión arterial baja. Es crucial considerar este aspecto en áreas montañosas. En resumen, se anticipa que el 90 % del material pétreo robusto exhiba al menos una cara fracturada, mientras que el 70 % exhibe dos caras fracturadas para asegurar su excelencia y robustez en la edificación.

Sales solubles totales (Piedra chancada ½").

Tabla 59

Resultado sales solubles totales

ITEM	DESCRIPCION		ENSAYOS	
1	Peso Tarro (Biker 100)	ml	40.52	40.52
2	peso Tarro + agua +sal	gr.	122.11	122.43
3	Peso Tarro Seso + Sal	gr.	40.57	40.58
4	Peso de Sal	gr.	0.05	0.06
5	Peso de Agua	gr.	81.54	81.85
6	Contenido de Sales	%	0.06	0.07
7	Solubles Totales	ppm	613.20	733.05
8	PONDERADO	%	0.07	
9		ppm	673.12	

Nota. En la tabla se muestra los resultados de sales solubles totales de la piedra chancada.

INTERPRETACIÓN

La tabla N°58 se muestra los resultados de sales solubles totales de la piedra chancada de ½" es 0.07 %, la norma indica para altitudes mayores a 3.000 msnm es 5% como máximo por lo tanto 0.07% es menor que 0.5% entonces está dentro del requerimiento de la norma.

4.1.1.4. Estimación del grado de adherencia de partículas de mezclas asfáltica (piedra chancada ½").

Tabla 60

Resultado de estimación del grado de adherencia de partículas de mezcla asfáltica.

REVISTIMIENTO	**ADHERENCIA**
1	+ 95

Nota. En la tabla se puede ver los resultados de la estimación del grado de adherencia de partículas de la mezcla asfáltica.

INTERPRETACIÓN

La tabla número 59 revela que el porcentaje alcanzado para evaluar la adhesión de las partículas a la mezcla asfáltica supera el 96%. El reglamento europeo EG 2013 impone una adherencia mínima del 95 por ciento en todas las altitudes que no superen los 3.000 metros sobre el nivel del mar. En ambos casos, la dedicación y el compromiso son esenciales y se manifiestan con nitidez en nuestra encantadora región de Puno.

4.1.2. Propiedades Físicas Arena Natural Y Arena Chancada

4.1.2.1. Determinación del equivalente de arena (Arena natural).

Tabla 61

Resultados de equivalente arena natural

ITEM	DESCRIPCION	ENSAYOS	
1	Tamaño Máximo	N°4	N°4
2	Muestra	1	2
3	Hora de Entrada a Saturación	10:35	10:37
4	Hora de Salida a Saturación	10:45	10:47
IRRIGACION			
5	Hora de Entrada a reposo	10:47	10:49
6	HORA de Salida a reposo	11:07	11:09
7	Altura Máximo de Material Fino (Pulgadas)	4.7	4.7
8	Altura Máxima de Arenal Fino (Pulgadas)	3.8	3.8
9	Equivalente de Arena (%)	81	81
10	Equivalente de Arena Promedio (%)	81	

Nota. En la tabla se muestra los resultados del ensayo de equivalente de arena natural.

INTERPRETACIÓN

De acuerdo con la tabla N°60, los resultados de arena natural en el ensayo obtuvieron un 81%, aunque la normativa exige un 70% para altitudes superiores a 3.000 metros sobre el nivel del mar, en nuestro caso obtuvimos un 81%, por lo que no cumple con la normativa establecida en la tabla 423-02 de la EG 2013.

4.1.2.2. Determinación del equivalente de arena (Arena chancada).

Tabla 62

Resultados de equivalente de arena chancada.

ITEM	DESCRIPCION	ENSAYOS	
1	Tamaño Máximo	N°4	N°4
2	Muestra	1	2
3	Hora de Entrada a Saturación	10:15	10:17
4	Hora de Salida a Saturación	10:25	10:27
IRRIGACION			
5	Hora de Entrada a reposo	10:27	10:29
6	HORA de Salida a reposo	10:47	10:49
7	Altura Máxima de Material Fino (Pulgadas)	4.8	4.7
8	Altura Máxima de Arenal Fino (Pulgadas)	3.3	3.3
9	Equivalente de Arena (%)	69	71
10	Equivalente de Arena Promedio (%)	70	

Nota. En la tabla tenemos los resultados de equivalente de arena chancada.

INTERPRETACIÓN

Según la tabla número 61 del estudio sobre el equivalente de arena triturada, se determina que el porcentaje de arena es del 70%. En territorios que se elevan más allá de los 3.000 metros sobre el nivel del mar, la humedad relativa debe permanecer en un 70%, garantizando así la observancia de las regulaciones 423-02 de la EG 2013.

4.1.2.3. Determinación de la angularidad de agregados fino (Arena natural).

Tabla 63

Resultados de angularidad de agregados de arena natural.

ITEM	DESCRIPCION	ENSAYOS	
1	Peso de agregado fino + molde	5612	5623
2	Peso del molde	4262	4262
3	Peso de material en el molde	1350	1361
4	volumen de Molde	929	929
5	Peso Específico Seco	2.38	2.38
6	**Angularidad de agregado fino (%)**	38.89	38.39
7	**Angularidad de agregado fino Promedio (%)**	38.39	

Nota. En la tabla podemos ver los resultados realizados del ensayo angularidad de arena natural.

INTERPRETACIÓN

Según la tabla N°62 resultados de angularidad de agregados de arena natural se ha terminado el equivalente de arena 81.0%. La normativa de la EG 2013 menciona que a altitudes mayores a 3.000 msnm deben ser 40% al comparar nuestro resultado no se cumple no la normativa según la tabla 423-02.

4.1.2.4. Determinación de la angularidad de agregados fino (Arena chancada).

Tabla 64

Resultados de angularidad de agregados fino arena chancada

ITEM	DESCRIPCION	ENSAYOS	
1	Peso de agregado fino + molde	5532	5538
2	Peso del molde	4262	4262
3	Peso de material en el molde	1270	1276
4	volumen de Molde	929	929
5	Peso Específico Seco	2.48	2.48
6	**Angularidad de agregado fino (%)**	44.77	44.50
7	**Angularidad de agregado fino Promedio (%)**	44.50	

Nota. En la tabla podemos apreciar los resultados de angularidad de arena chancada.

INTERPRETACIÓN

Al revisar los resultados de la tabla N°63 de angularidad de agregados fino arena chancada tenemos que la angularidad es de 44.50%. En donde indica la normativa que la angularidad debe de ser 40% en altitudes mayores a 3.000 msnm, comparando el resultado con el parámetro de las tablas 423-02 no se cumple ya que supera en un 4.50% con lo que requiere la normativa.

4.1.2.5. Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos (Procedimiento Riedel - Weber) de arena natural.

Tabla 65

Resultado adhesividad de los ligantes bituminosa arena natural.

REVESTIMIENTO			ADHERENCIA	RESULTADO	
AGUA DESTILLADA			NULO	Parcial: Grado 5	TOTAL:
Concentración	M/256	1	NULO	Grado 10	
de Carbonato	M/128	2	NULO		
Sodio (G de	M/64	3	NULO		
N2CO3)	M/32	4	NULO		
	M/16	5	PARCIAL		
	M/8	6	PARCIAL		
	M/4	7	PARCIAL		
	M/2	8	PARCIAL		
	M/1	9	PARCIAL		

Nota. La tabla nos indica los resultados realizados adhesividad de los ligantes bituminosa arena natural.

INTERPRETACIÓN

El método de ensayo es empleado para determinar el grado de afinidad del agregado fino - ligante bituminoso según la tabla N°64 que desde el M/16 hacia soluciones de concentración se puede ver adherencia parcial, lo que nos indica que el recubrimiento no es por completo y el ligante pierde adherencia frente a la acción de agua. El resultado parcial grado 5 con un total 10 nos indica que no se obtuvo un recubrimiento satisfactorio según los estándares.

4.1.2.6. Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos (Procedimiento Riedel - Weber) de arena chancada.

Tabla 66

Resultado adhesividad de los ligantes bituminosa arena chancada.

REVESTIMIENTO			ADHERENCIA	RESULTADO
AGUA DESTILLADA			NULO	Parcial: Grado 6 Total: Grado 10
Concentración	M/256	1	NULO	
de Carbonato	M/128	2	NULO	
Sodio (G de	M/64	3	NULO	
N2CO3)	M/32	4	NULO	
	M/16	5	PARCIAL	
	M/8	6	PARCIAL	
	M/4	7	PARCIAL	
	M/2	8	PARCIAL	
	M/1	9	PARCIAL	

Nota. En la tabla se tiene los resultados de adhesividad de los ligantes bituminosa arena chancada.

INTERPRETACIÓN

Para evaluar la afinidad del agregado fino - ligante bituminoso, se utiliza el método de ensayo N°65 que desde el M/16 hacia soluciones de concentración se puede ver adherencia parcial, lo que nos indica que el recubrimiento no es por completo y el ligante pierde adherencia frente a la acción de agua. El resultado parcial grado 6 con un total 10 nos indica que no se obtuvo un recubrimiento satisfactorio según los estándares.

4.1.2.7. Determinación del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (Arena natural con el tamiz N°40).

Tabla 67

Resultados de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad arena natural.

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
DESCRIPCION	1	2	3	1	2	3
Nr. De Recipiente						
Masa de Recipiente						
Masa de Recipiente + Suelo Húmedo						
Masa Recipiente + Suelo Seco						
N° De Golpes						
Cantidad mínima requerida LL:20g/LP.6g	NO PRENSENTA					
Contenido de Humedad	NO PRENSENTA					

Nota. En la tabla se tiene los resultados del ensayo de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad arena natural.

INTERPRETACIÓN

Según la tabla número 66, que revela los hallazgos sobre el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de la arena natural utilizando el tamiz número 40, se puede observar que el ensayo no revela ni el límite líquido ni el plástico. Para las alturas que superen los 3.000 metros sobre el nivel del mar, conforme a la tabla 423 – 02, no hay restricciones ni limitaciones. Por lo tanto, podemos afirmar con absoluta certeza que el proyecto acata todas las normativas técnicas esenciales y esenciales para su ejecución y evolución.

4.1.2.8. Determinación del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (Arena chancada con el tamiz N°40).

Tabla 68

Resultados de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad arena chancada.

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
DESCRIPCION	1	2	3	1	2	3
Nr. De Recipiente						
Masa de Recipiente						
Masa de Recipiente + Suelo Húmedo						
Masa Recipiente + Suelo Seco						
N° De Golpes						
Cantidad mínima requerida LL:20g/LP.6g	NO PRENSENTA					
Contenido de Humedad	NO PRENSENTA					

Nota. En la tabla se tiene los resultados de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad arena chancada.

INTERPRETACIÓN

Según la tabla N°67 Resultados de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad arena chancada del tamiz N°40 en el ensayo que se ha realizado no presenta limite liquido tampoco el límite plástico. La normativa menciona que para altitudes mayores a 3.000 msnm caso de nuestra región de Puno No Presenta el índice de plasticidad.

4.1.2.9. Determinación del índice de durabilidad agregado (Arena natural).

Tabla 69

Resultado determinación del índice de durabilidad arena natural.

ITEM	DESCRIPCION		ENSAYOS	
1	Volumen de la muestra	Ml	85	85
2	Tiempo de Lavado	Min	2	2
3	Tiempo de Agitación	Min	10	10
4	Tiempo de Sedimentación	Min	20	20
5	Temperatura de la Solución	(°C)	23	23
6	Tiempo de la Solución	pulg.	3.9	4.3
	Altura de Arena	pulg.	2.9	3.1
7	Índice Durabilidad (Df)		75	73
8	**Índice Durabilidad (Df)**		74	

Nota. En la tabla se muestra los resultados del índice de durabilidad de la arena natural.

INTERPRETACIÓN

Según la tabla N°68 Determinación del índice de durabilidad agregado (Arena natural) al realizar el ensayo se ha determinado el índice de durabilidad es 74 %. La norma indica que a altitudes mayores a 3.000 msnm se debe tener como 35 mínimo, razón por el cual cumplí con la normativa por que la norma no indica un máximo solamente menciona un mínimo.

4.1.2.10. Determinación del índice de durabilidad agregado (Arena chancada).

Tabla 70

Resultado del índice de durabilidad arena chancada.

ITEM	DESCRIPCION		ENSAYOS	
1	Volumen de la muestra	Ml	85	85
2	Tiempo de Lavado	Min	2	2
3	Tiempo de Agitación	Min	10	10
4	Tiempo de Sedimentación	Min	20	20
5	Temperatura de la Solución	(°C)	23	23
6	Tiempo de la Solución	pulg.	3.8	4
	Altura de Arena	pulg.	2..8	3.2
7	Índice Durabilidad (Df)		74	80
8	**Índice Durabilidad (Df)**		77	

Nota. En la tabla se muestra los resultados del ensayo del índice de durabilidad de arena chancada.

INTERPRETACIÓN

Según los resultados que se tiene en la tabla N°69 Determinación del índice de durabilidad agregado (Arena chancada) al realizar el ensayo correspondiente tenemos como resultado el índice de durabilidad 77 %. La norma indica que altitudes mayores a 3.000 msnm caso de la región de Puno el índice de durabilidad debe de ser 35 minino en nuestro caso es 77% por tanto está dentro de la normativa ya que no especifica un máximo la norma.

4.1.2.11. Determinación del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (arena natural con el tamiz n°200).

Tabla 71

Resultado del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (Arena natural con el tamiz N°200).

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
DESCRIPCION	1	2	3	1	2	3
Nr. De Recipiente						
Masa de Recipiente						
Masa de Recipiente + Suelo Húmedo						
Masa Recipiente + Suelo Seco						
N° De Golpes						
Cantidad mínima requerida LL:20g/LP.6g	NO PRENSENTA					
Contenido de Humedad	NO PRENSENTA					

Nota. En la tabla se muestra los resultados de limites de la arena natural con el tamiz N°200.

INTERPRETACIÓN

De acuerdo con los hallazgos detallados en la tabla número 70, En el documento se detallan los confines líquidos y los confines plásticos, además del análisis del índice de plasticidad para la muestra de arena natural, tamizada con el tamiz número 200, y se calcula el índice de plasticidad para la muestra de arena natural. En nuestro estudio, la exactitud del índice de plasticidad ha sido un misterio. De acuerdo con la EG 2013, en regiones montañosas que superan los 3.000 metros sobre el nivel del mar, como el departamento de Puno, es imperativo extremar las precauciones por las inclemencias climáticas que acechan en estas altitudes, no es necesario presentar documentación adicional, lo que implica que se está cumpliendo con las directrices vigentes.

4.1.2.12. Determinación del límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (Arena chancada con el tamiz N°200).

Tabla 72

Resultado de límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (Arena chancada con el tamiz N°200).

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
DESCRIPCION	1	2	3	1	2	3
Nr. De Recipiente						
Masa de Recipiente						
Masa de Recipiente + Suelo Húmedo						
Masa Recipiente + Suelo Seco						
N° De Golpes						
Cantidad mínima requerida LL:20g/LP.6g	NO PRENSENTA					
Contenido de Humedad	NO PRENSENTA					

Nota. En la tabla se muestra los resultados de limites e índice de plasticidad de arena chancada.

INTERPRETACIÓN

Conforme a los detalles detallados en la tabla número 71 sobre la determinación del límite líquido, límite plástico y índice de plasticidad para la muestra de arena triturada utilizando el tamiz número 200, es evidente que el valor del índice de plasticidad no está especificado. Es crucial destacar que esta situación se manifiesta en áreas con altitudes que superan los 3.000 metros sobre el nivel del mar. En cuanto al coeficiente de elasticidad, es crucial subrayar que el material satisface las exigencias vigentes.

4.1.2.13. Sales solubles totales (Arena natural)

Tabla 73

resultado de Sales solubles totales (Arena natural).

ITEM	DESCRIPCION		ENSAYOS	
1	Peso Tarro (Biker 100)	ml	40.52	40.52
2	peso Tarro + agua +sal	gr.	135.42	132.18
3	Peso Tarro Seso + Sal	gr.	40.59	40.61
4	Peso de Sal	gr.	0.07	0.09
5	Peso de Agua	gr.	94.83	91.57
6	Contenido de Sales	%	0.07	0.10
7	Solubles Totales	ppm	738.16	982.85
8	PONDERADO	%	0.09	
9		ppm	860.51	

Nota. En la tabla tenemos los resultados del ensayo de sales solubles de la arena natural.

INTERPRETACIÓN

Según la table N°72 resultado de Sales solubles totales (Arena natural) al determinar las sales solubles totales se obtuvo 0.09 %. La norma indica que a altitudes mayores a 3.000 msnm lo que correspondería a la región de Puno debe ser como máximo 0.5%. Comparando el resultado está dentro del rango de la normativa ya que 0.09% es menor que 0.5%.

4.1.2.14. Sales solubles totales (Arena chancada)

Tabla 74

Resultado sales solubles totales (Arena chancada).

ITEM	DESCRIPCION		ENSAYOS	
1	Peso Tarro (Biker 100)	Ml	40.52	40.52
2	peso Tarro + agua +sal	gr.	131.75	130.46
3	Peso Tarro Seso + Sal	gr.	40.62	40.61
4	Peso de Sal	gr.	0.1	0.09
5	Peso de Agua	gr.	91.13	89.85
6	Contenido de Sales	%	0.11	0.10
7	Solubles Totales	Ppm	1097.33	1001.67
8	PONDERADO	%	0.10	
9		Ppm	1049.50	

Nota. En la tabla tenemos los resultados del ensayo de sales solubles de la arena chancada.

INTERPRETACIÓN:

De acuerdo a la tabla N°73 resultado de sales solubles totales (Arena chancada) al realizar el ensayo correspondiente se obtuvo sales solubles totales de 0.10 %. La norma menciona que a altitudes mayores a 3.000 msnm que es caso de la región de Puno debe ser 0.5% como máximo al comparar el resultado 0.1% es menor que 0.5% por lo tanto está dentro de la normativa.

4.1.2.15. Determinación del peso específico y adsorción del agregado fino (Arena natural).

Tabla 75

Resultado del peso específico y adsorción del agregado fino (Arena natural).

	IDENTIFICACION	1	2	
A	Peso mat. Sat. Sup. Seca (SSS)	500	500	
B	Peso Frasco + Agua	709.6	709.6	
C	Peso Frasco + Agua + Muestra SS	1013.8	1013.8	
D	Peso del Mat. Seco	486.3	486.3	**PROMEDIO**
Pe bulk (Base seca)		2.48	2.48	2.48
Pe Bulk (Base saturada)		2.55	2.55	2.55
Pe Aparente (Base seca)		2.67	2.67	2.67
% Absorción 100*((A-D)/D)		2.8	2.8	**2.8**

Nota. En la tabla tenemos los resultados del ensayo peso específico y adsorción de la arena natural.

INTERPRETACIÓN:

Según la tabla N°74 Determinación de resultado peso específico y adsorción del agregado fino (Arena natural) se obtuvo como resultado 2.8 %. La norma menciona que a altitudes mayores a 3.000 msnm que pertenecería a la región de Puno debe ser como máximo 5%. Comparando con la absorción obtenido 2.8% es menor que 0,5% por lo tanto cumple con la normativa.

4.1.2.16. Determinación del peso específico y adsorción del agregado fino (Arena chancada).

Tabla 76

Resultado de peso específico y adsorción del agregado fino (Arena chancada).

	IDENTIFICACION	1	2	
A	Peso mat. Sat. Sup. Seca (SSS)	500	500	
B	Peso Frasco + Agua	709.6	709.6	
C	Peso Frasco + Agua + Muestra SS	1018	1013.3	
D	Peso del Mat. Seco	492.3	512	**PROMEDIO**
Pe bulk (Base seca)		2.57	2.57	2.57
Pe Bulk (Base saturada)		2.61	2.61	2.61
Pe Aparente (Base seca)		2.68	2.68	2.68
% Absorción 100*((A-D)/D)		1.6	1.6	**1.6**

Nota. En la tabla tenemos los resultados del ensayo peso específico y adsorción de la arena chancada.

INTERPRETACIÓN:

Se ha detectado una adsorción del 1.6 por ciento en el agregado fino (Arena chancada). La normativa vigente establece que, en territorios que se elevan más allá de los 3.000 metros sobre el nivel del mar, como es el caso del departamento de Puno, se debe seguir la ley vigente, un parámetro específico debe representar un 0.5%. Al comparar este valor con el resultado de 1.6%, se puede deducir que es inferior al 0.5%, lo que evidencia que se está cumpliendo con las normas vigentes.

4.1.3. Resultados De Propiedades De Pet

4.1.3.1. Análisis granulométrico por tamizado (PET).

Tabla 77

Resultado del análisis granulométrico por tamizado (PET).

ABERTURA MALLA	AASHTO T-27(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	GRADACION MAC-2 MIN	GRADACION MAC-2 MAX	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0			
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0			**PESO INICIAL**
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0			**500.00** gr.
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0			
Nº 4	4.750	4.2	0.8	0.8	99.2			
Nº10	2.000	38.8	7.8	8.6	91.4			
N°20	0.850	373.9	74.8	83.4	16.6			
Nº 40	0.425	68.7	13.7	97.1	2.9			
N°80	0.180	10.5	2.1	99.2	0.8			
N°100	0.150	3.2	0.6	99.9				
Nº 200	0.075	0.7	0.1	100.0	0.0			
> Nº 200	FONDO	0.0	0.0	100.0	0.0			

Nota. En la tabla tenemos los resultados del análisis granulométrico por tamizado (PET).

4.1.4. Resultados diseño mac – 2 sin adiciones.

4.1.4.1. Análisis granulométrico por tamizado (Piedra chancada ½").

Tabla 78

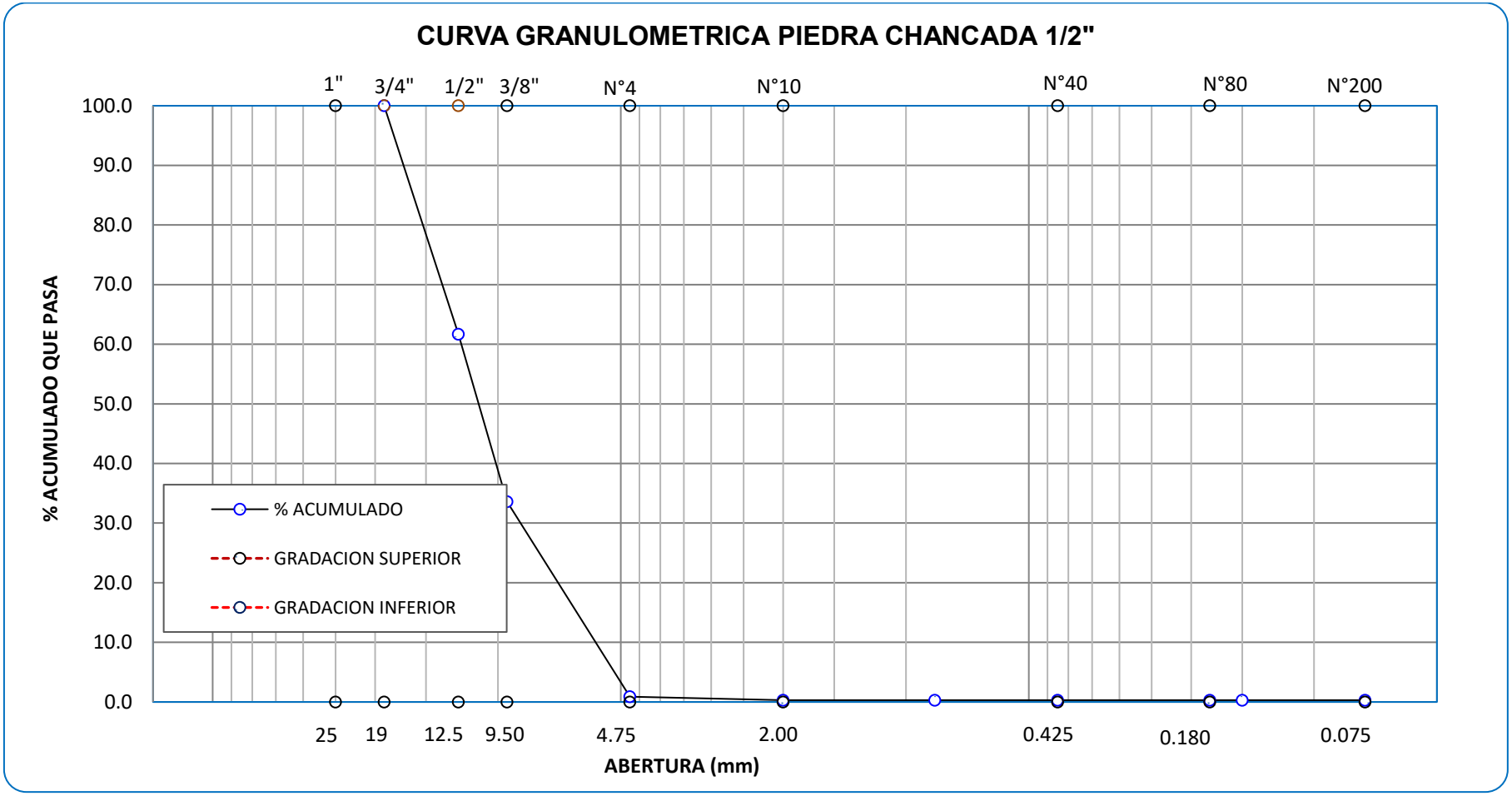
Resultado de análisis granulométrico por tamizado (Piedra chancada ½").

ABERTURA MALLA	T-27(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	GRADACION MAC-2 MIN	MAX	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0				
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0			PESO INICIAL	
1/2"	12.500	1148.6	38.3	38.3	61.7			**3,000.00**	gr.
3/8"	9.500	843.4	28.1	66.4	33.6				
Nº 4	4.750	980.7	32.7	99.1	0.9				
Nº10	2.000	17.5	0.6	99.7	0.3				
N°20	0.850	0.0	0.0	99.7	0.3				
Nº 40	0.425	0.0	0.0	99.7	0.3				
N°80	0.180	0.0	0.0	99.7	0.3				
N°100	0.150	0.0	0.0	99.7	0.3				
Nº 200	0.075	0.0	0.0	99.7	0.3				
> Nº 200	FONDO	9.8	0.3	100.0	0.0				

Nota. En la tabla tenemos los resultados de análisis granulométrico por tamizado (Piedra chancada ½").

Figura 27

Curva granulométrica Piedra Chancada 1/2



Nota. En la figura podemos apreciar la curva granulométrica Piedra Chancada 1/2

4.1.4.2. Análisis granulométrico por tamizado (Arena chancada).

Tabla 79

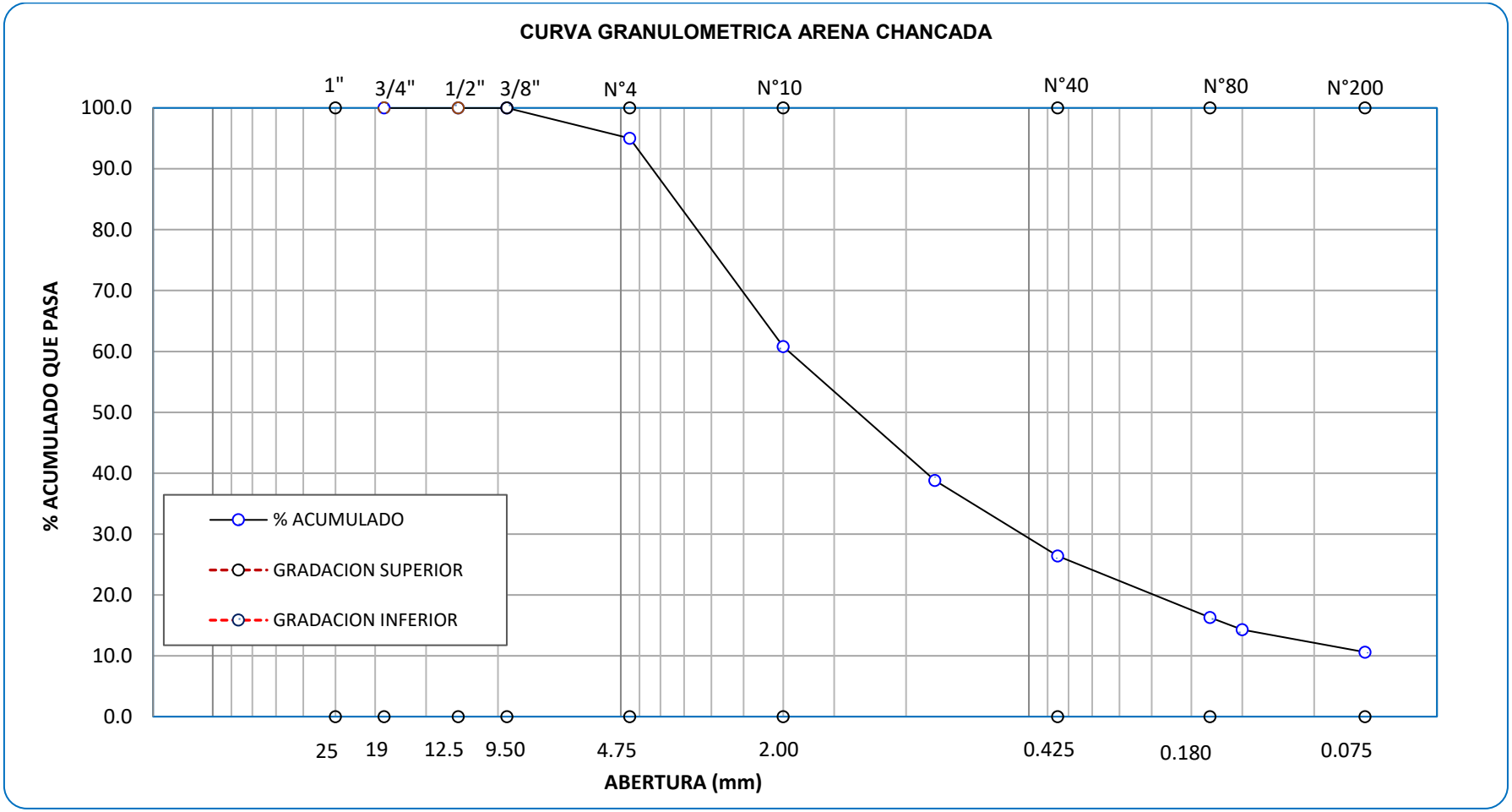
Resultado de análisis granulométrico por tamizado (Arena chancada).

ABERTURA MALLA	T-27(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	GRADACION MAC-2 MIN	GRADACION MAC-2 MAX	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0			
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0			PESO INICIAL
1/2"	12.500	1148.6	38.3	38.3	61.7			**3,000.00** gr.
3/8"	9.500	843.4	28.1	66.4	33.6			
Nº 4	4.750	980.7	32.7	99.1	0.9			
Nº10	2.000	17.5	0.6	99.7	0.3			
N°20	0.850	0.0	0.0	99.7	0.3			
Nº 40	0.425	0.0	0.0	99.7	0.3			
N°80	0.180	0.0	0.0	99.7	0.3			
N°100	0.150	0.0	0.0	99.7	0.3			
Nº 200	0.075	0.0	0.0	99.7	0.3			
> Nº 200	FONDO	9.8	0.3	100.0	0.0			

Nota. La tabla muestra resultado de análisis granulométrico por tamizado de la Arena chancada.

Figura 28

Curva granulométrica arena chancada.



Nota. La figura muestra la gradación y se ve la curva granulométrica arena chancada.

4.1.4.3. Análisis granulométrico por tamizado (Arena natural)

Tabla 80

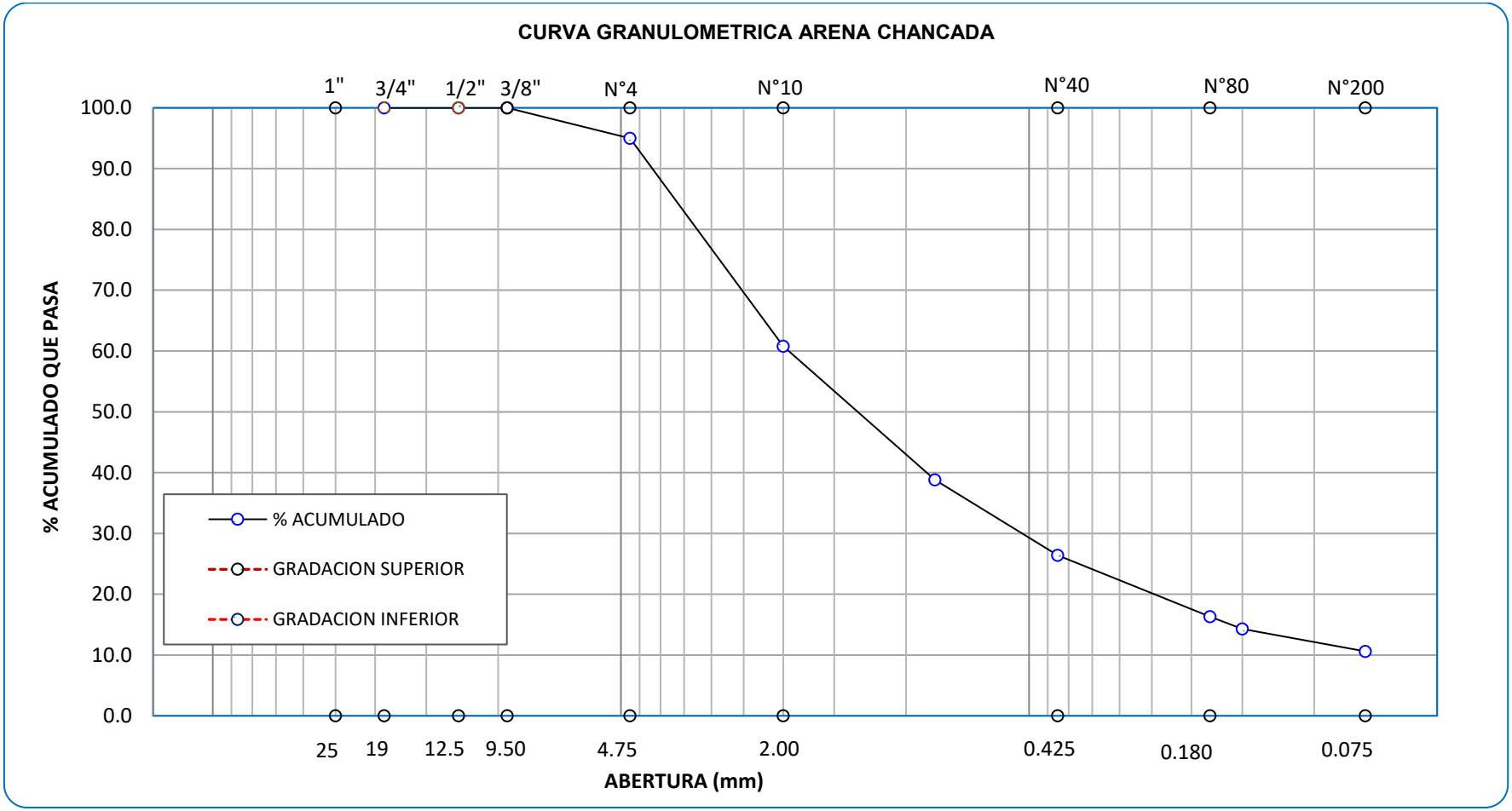
Resultado de análisis granulométrico por tamizado (Arena natural).

ABERTURA MALLA	AASHTO T-27(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	GRADACION MAC-2 MIN	GRADACION MAC-2 MAX	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0			
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0			PESO INICIAL
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0			**500.00** gr.
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0			
Nº 4	4.750	60.7	12.1	12.1	87.9			
Nº10	2.000	116.6	23.3	35.5	64.5			
N°20	0.850	104.8	21.0	56.4	43.6			
Nº 40	0.425	81.9	16.4	72.8	27.2			
N°80	0.180	87.0	17.4	90.2	9.8			
N°100	0.150	13.0	2.6	92.8	7.2			
Nº 200	0.075	17.8	3.6	96.4	3.6			
> Nº 200	FONDO	18.2	3.6	100.0	0.0			

Nota. En la tabla se tiene los resultados del análisis granulométrico por tamizado (Arena natural).

Figura 29

Curva granulométrica Arena Natural



Nota. En la figura se muestra la curva granulométrica Arena Natural

4.1.4.4. Análisis granulométrico por tamizado (Filler silico)

Tabla 81

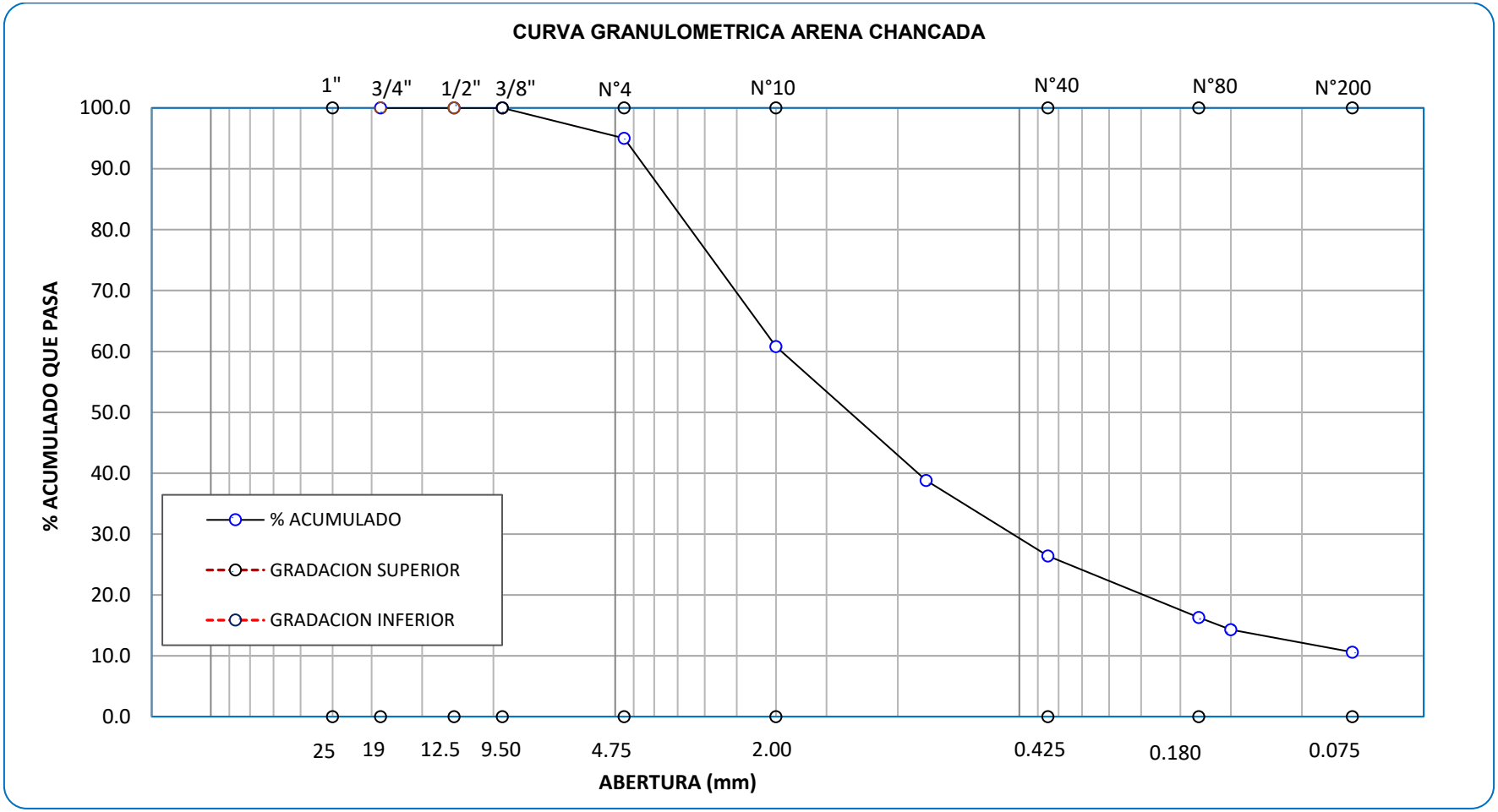
Resultado de análisis granulométrico por tamizado (Filler silico).

ABERTURA MALLA	T-27(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	GRADACION MAC-2 MIN	GRADACION MAC-2 MAX	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0			
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0			PESO INICIAL
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0			**200.00** gr.
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0			
Nº 4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0			
Nº10	2.000	0.0	0.0	0.0	100.0			
N°20	0.850	0.0	0.0	0.0	100.0			
Nº 40	0.425	0.0	0.0	0.0	100.0			
N°80	0.180	0.0	0.0	0.0	100.0			
N°100	0.150	0.1	0.1	0.1	100.0			
Nº 200	0.075	1.2	0.6	0.7	99.4			
> Nº 200	FONDO	198.7	99.4	100.0	0.0			

Nota. En la tabla podemos ver los resultados de análisis granulométrico por tamizado (Filler silico).

Figura 30

Curva granulométrica de Filler Silico.



Nota. En la figura podemos ver los resultados al realizar el ensayo se muestra la curva granulométrica de Filler Silico.

4.1.4.5. Análisis granulométrico por tamizado (Combinación teórica de agregados)

Tabla 82

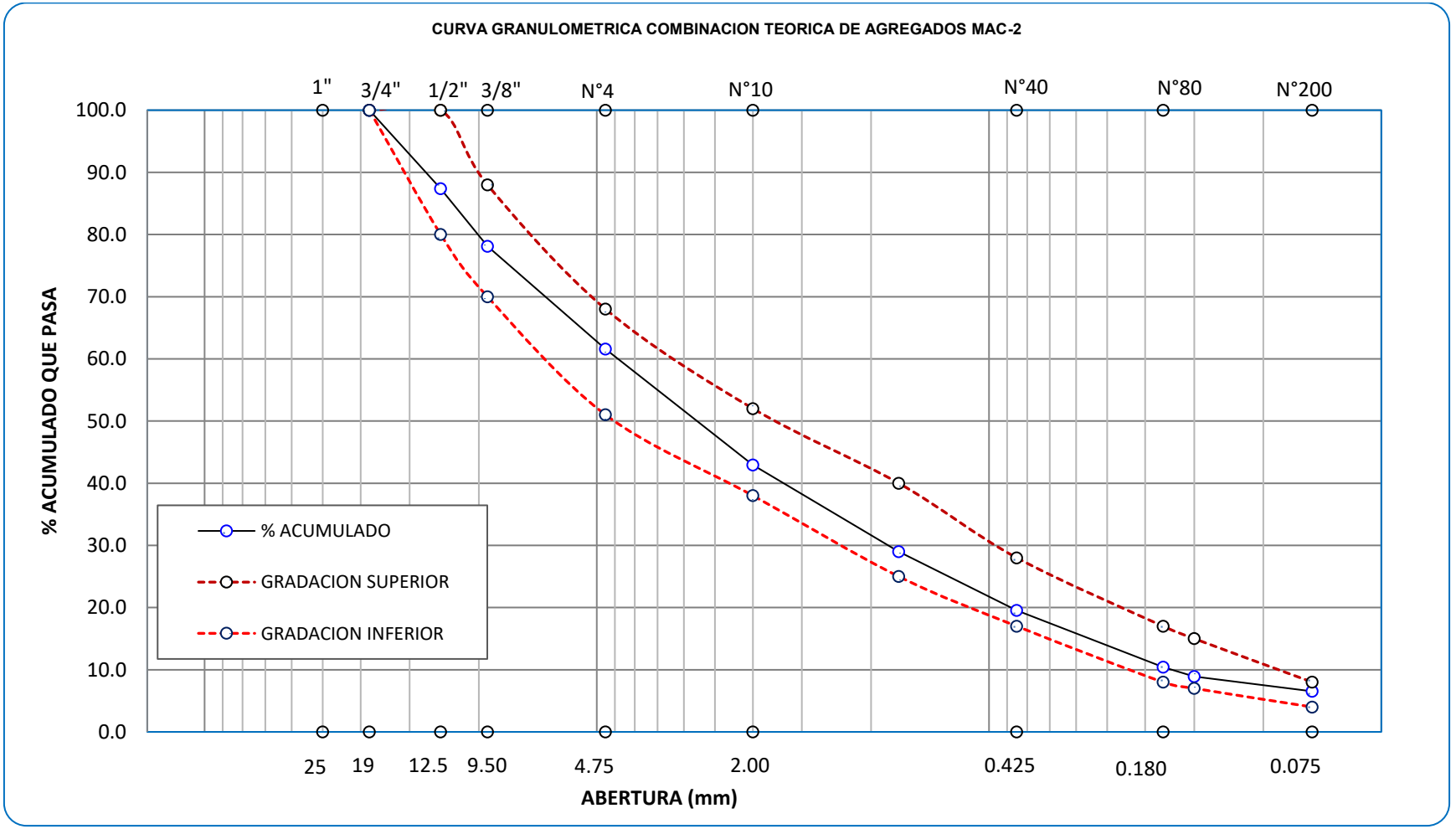
Resultado de análisis granulométrico por tamizado (Combinación teórica de agregados).

ABERTURA MALLA		% ACUMULADOS PASANTE				GRADACION MAC-2		% PASANTE ACUMULADO
	T-27(mm)	M – 01 33%	M - 02 30%	M – 03 35.00%	M - 04 2.00%	MIN	MAX	PROMEDIO
1"	25.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		**100.0**
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	**100.0**
1/2"	12.500	61.7	100.0	100.0	100.0	80.0	100.0	**87.4**
3/8"	9.500	33.6	100.0	100.0	100.0	70.0	88.0	**78.1**
Nº 4	4.750	0.9	95.0	87.9	100.0	51.0	68.0	**61.6**
Nº10	2.000	0.3	60.8	64.5	100.0	38.0	52.0	**42.9**
N°20	0.850	0.3	38.8	43.6	100.0	25.0	40.0	**29.0**
Nº 40	0.425	0.3	26.4	27.2	100.0	17.0	28.0	**19.5**
N°80	0.180	0.3	16.3	9.8	100.0	8.0	17.0	**10.4**
N°100	0.150	0.3	14.3	7.2	100.0	7.0	15.0	**8.9**
Nº 200	0.075	0.3	10.6	3.6	99.4	4.0	8.0	**6.5**
> Nº 200	FONDO	0.0	0.0	0.0	0.0			**0.0**

Nota. Resultado de análisis granulométrico por tamizado de la Combinación teórica de agregados.

Figura 31

Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados.



Nota. De la figura podemos verificar la Curva granulométrica de Combinación teórica de agregados.

4.1.4.6. Análisis granulométrico por tamizado (Verificación mezcla agregados)

Tabla 83

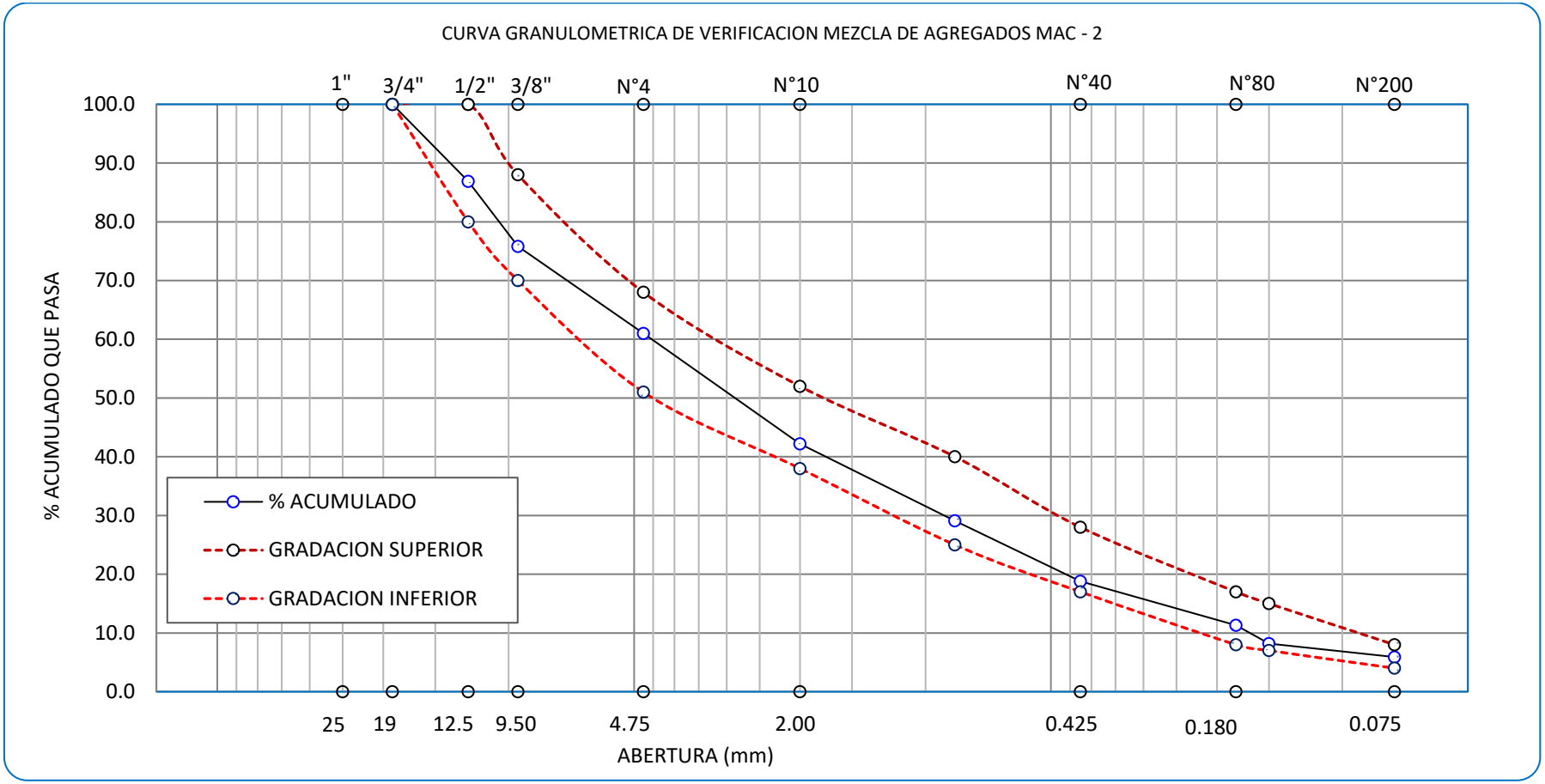
Resultado de análisis granulométrico por tamizado (Verificación mezcla agregados).

ABERTURA MALLA	AASHTO T-27(mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	% PESO RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% PASANTE ACUMULADO	GRADACION MAC-2 MIN	GRADACION MAC-2 MAX	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100		
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	**PESO INICIAL**
1/2"	12.500	526.0	13.2	13.2	86.9	80	100	**4,000.00** gr.
3/8"	9.500	442.0	11.1	24.2	75.8	70	88	
Nº 4	4.750	592.0	14.8	39.0	61.0	51	68	
Nº10	2.000	753.0	18.8	57.8	42.2	38	52	
N°20	0.850	523.0	13.1	70.9	29.1	25	40	
Nº 40	0.425	412.0	10.3	81.2	18.8	17	28	
N°80	0.180	302.0	7.6	88.8	11.3	8	17	
N°100	0.150	122.0	3.1	91.8	8.2	7	15	
Nº 200	0.075	92.0	2.3	94.1	5.9	4	8	
> Nº 200	FONDO	236.0	5.9	100.0	0.0			

Nota. En la tabla se puede ver los resultados del análisis granulométrico por tamizado (Verificación mezcla agregados)

Figura 32

Curva granulométrica de Verificación mezcla agregado.



Nota. En la figura podemos podemos verificar los resultados obtenidos de la curva granulométrica de Verificación mezcla agregado.

4.1.5. Resultados De Mezcla Asfáltica En Caliente Método Illinois Marshall - Determinación Del Porcentaje Optimo De Cemento Asfaltico

4.1.5.1. Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % de vacíos (C.A. 5.50 %)

Tabla 84

Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % de vacíos (C.A. 5.50 %)

Numero de Especímenes	Und.	1	2	3	Promedio
% C.A. en peso de la Mezcla	**%**	**5.5**	**5.5**	**5.5**	
Estabilidad corregida	Kg.	760	797	810	789
Flujo	Mm	3.89	4.75	4.27	4.30
% de Vacíos	%	7.7	7.9	6	7.2

Nota. En la tabla se puede ver los resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % de vacíos (C.A. 5.50 %)

INTERPRETACIÓN:

Según la tabla N°83 resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % de vacíos con el porcentaje de empleo de C.A. 5.50 %. Se tiene los siguientes resultados de los tres especímenes promediados como se muestra tenemos estabilidad corregida 789 kg= 7.74KN, flujo 4.30 y % de vacíos de 7.2.

4.1.5.2. Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (C.A. 6.00 %)

Tabla 85

Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % de vacíos (C.A. 6.00 %)

Numero de Especímenes	Und.	1	2	3	Promedio
% C.A. en peso de la Mezcla	**%**	**6**	**6**	**6**	
Estabilidad corregida	Kg.	1400	1392	1393	1395
Flujo	Mm	8.51	8.56	8.23	8.43
% de Vacíos	%	6	6.1	6	6.03

Nota. La tabla nos indica los Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % de vacíos (C.A. 6.00 %)

INTERPRETACIÓN:

De acuerdo a la tabla N°84 resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % de vacíos con el porcentaje de C.A. 6.00 % al realizar los tres especímenes promedio se tienen los siguientes resultados estabilidad corregida 1395 kg = 13.68 KN, flujo 8.43 mm y el % de vacíos 6.03%.

Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (C.A. 6.50 %)

Tabla 86

Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (C.A. 6.50 %)

Numero de Especímenes	Und.	1	2	3	Promedio
% C.A. en peso de la Mezcla	**%**	**6.5**	**6.5**	**6.5**	
Estabilidad corregida	Kg.	1562	1438	1445	1481.67
Flujo	mm	9.45	9.37	9.65	9.49
% de Vacíos	%	4.2	4.2	4.4	4.27

Nota. En la tabla se muestra los resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (C.A. 6.50 %).

INTERPRETACIÓN:

A partir de los datos detallados en la tabla número 85 del ensayo de estabilidad, flujo Marshall y porcentaje de vacíos, se obtuvieron los siguientes resultados: estabilidad corregida de 1481.67 kilogramos, equivalente a 14.54 kilonewtons, flujo de 9.49 milímetros y un porcentaje de vacíos del 4.27 %. El grado de solidez del asfalto se eleva notablemente al aumentar su porcentaje. Al superar el umbral máximo, el porcentaje siguiente disminuye, revelando así que el diseño satisface los requisitos establecidos con precisión. El flujo se mantiene dentro de los límites aceptables, revelando una capacidad suficientemente adaptable del material. En cuanto al porcentaje de vacíos, se considera que cumple con las normas EG-2013 de la tabla 423-06, lo cual es óptimo y contribuye a evitar que el asfalto se desgaste.

4.1.5.3. Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y el % de vacíos (C.A. 7.00 %)

Tabla 87

Resultados del ensayo estabilidad y flujo Marshall (C.A. 7.00 %)

Numero de Especímenes	Und.	1	21	3	Promedio
% C.A. en peso de la Mezcla	**%**	**7**	**7**	**7**	
Estabilidad corregida	Kg.	1474	1189	1147	1270
Flu	mm	10.4	10.8	10.87	10.69
% de Vacíos	%	2.5	4.1	2.7	3.1

Nota. En la tabla se puede ver los resultados del ensayo estabilidad y flujo Marshall (C.A. 7.00 %)

INTERPRETACIÓN:

De acuerdo con la tabla 86 del informe de resultados de estabilidad y flujo Marshall, junto con el porcentaje de vacíos con un asfalto del 7.00 %, se concluyó que el promedio de los tres especímenes mostró una estabilidad corregida de 1270 kg, equivalente a 12.46 kilonewtons, un flujo de 10.69 milímetros y un 3.1% de vacíos.

RESULTADOS DE RICE

4.1.5.4. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 5.50 %)

Tabla 88

Resultado de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 5.50 %)

Identificación Muestra		Unid.	1
1	Peso del material	gr.	1500
2	Peso agua + frasco	gr.	6798
3	Peso agua + frasco + material	gr.	8298
4	Peso agua + frasco + material (ensayo)	gr.	7662
5	Volumen	gr.	636
Peso Específico Máximo MAC, g/cm3		g/cm3	2.358

Nota. En la tabla se muestra los resultados de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 5.50 %)

Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 6.00 %)

Tabla 89

Resultados de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 6.00 %)

Identificación Muestra		Unid.	1
1	Peso del material	gr.	1500
2	Peso agua + frasco	gr.	6798
3	Peso agua + frasco + material	gr.	8298
4	Peso agua + frasco + material (ensayo)	gr.	7658
5	Volumen	gr.	640
Peso Específico Máximo MAC, g/cm3		g/cm3	2.344

Nota. En la tabla se muestran los resultados de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 6.00 %).

4.1.5.5. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 6.50 %)

Tabla 90

Resultado de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 6.50 %)

Identificación Muestra		Unid.	1
1	Peso del material	gr.	1865
2	Peso agua + frasco	gr.	6798
3	Peso agua + frasco + material	gr.	8663
4	Peso agua + frasco + material (ensayo)	gr.	7859
5	Volumen	gr.	804
Peso Específico Máximo MAC, g/cm3		g/cm3	2.320

Nota. En la tabla se muestran los resultados de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 6.50 %).

4.1.5.6. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 7.00 %)

Tabla 91

Resultados de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 7.00 %)

Identificación Muestra		Unid.	1
1	Peso del material	gr.	1859.8
2	Peso agua + frasco	gr.	6798
3	Peso agua + frasco + material	gr.	8657.8
4	Peso agua + frasco + material (ensayo)	gr.	7851
5	Volumen	gr.	806.8
Peso Específico Máximo MAC, g/cm3		g/cm3	2.305

Nota. En la tabla se ve los resultados de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE 7.00 %)

4.1.5.7. Gráficos de determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico.

Tabla 92

Resultado de gráficos de determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico.

TABLA AUXILIAR PARA MODO GRAFICO	
% Cemento Asfaltico en peso	6.44%
Aditivo	…...
Peso específico Probeta	2.217
Vacíos	4.62
Vacíos Agregado Mineral	17.84
Vacíos Llenados con C. Asfaltico	14.15
Flujo	9.78
Estabilidad	1518
Factor de rigidez	3920

Nota. En la tabla podemos apreciar los resultados de gráficos de determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico.

Tabla 93

Cuadro resumen de la determinación del optimo contenido de cemento asfaltico.

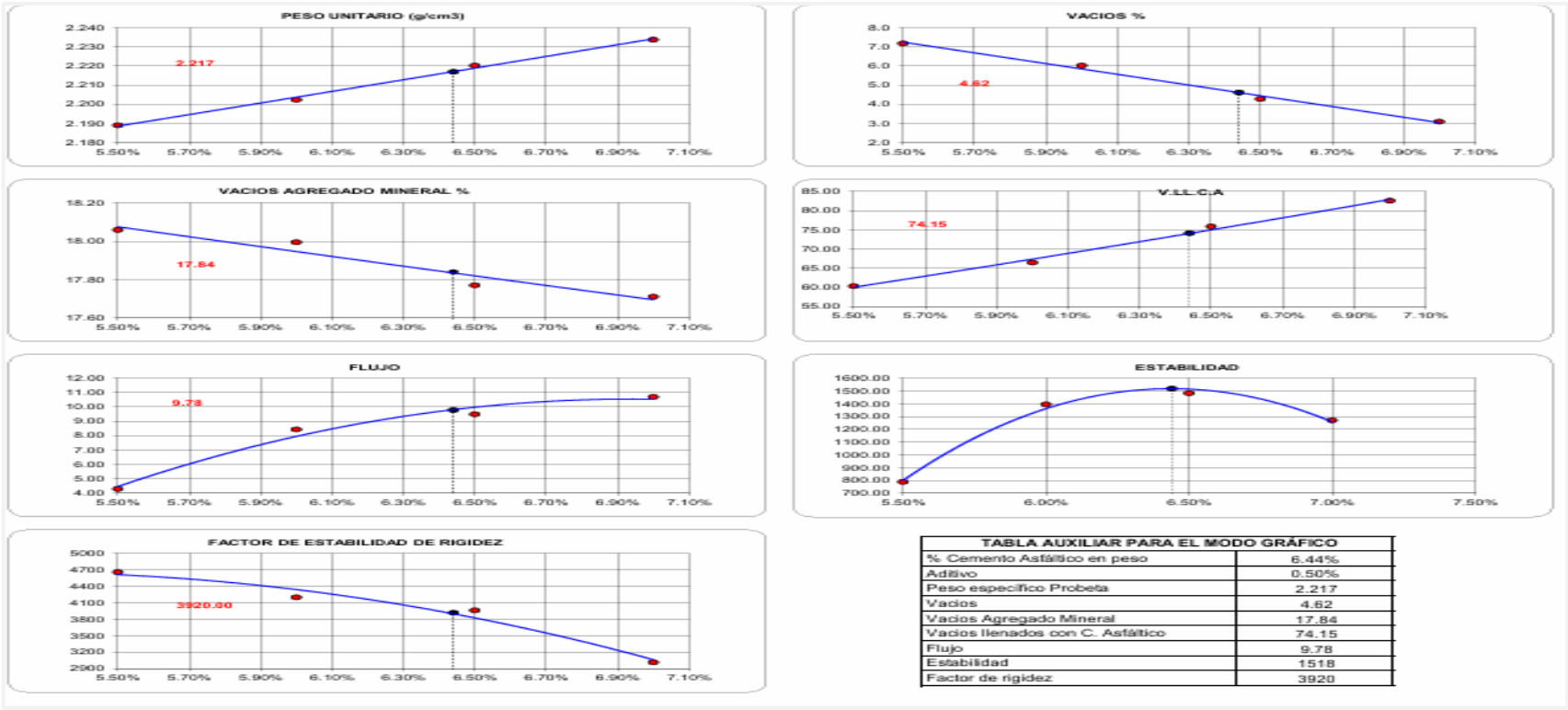
TABLA DE OPTIMO % DE CEMENTO ASFALTICO		% Cemento Asfaltico en peso	Peso específico Probeta (gr/cc)	Vacíos (%)	Vacíos Agregado Mineral (%)	Vacíos Llenados con C. Asfaltico (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (kg.)	Factor de rigidez (Kg/cm3)
RESULTADO		6.44%	2.217	4.62	17.84	14.15	9.78	1518	3920
EG-2013 (tabla 423-06)	MINIMO			3	14.8	65	8	815	1700
	MAXIMO			5	.		14	.	4000
APROBACION				SI			SI	SI	SI

Nota. En la tabla se muestra los resultados del cuadro resumen de la determinación del optimo contenido de cemento asfaltico.

4.1.6. Gráficos Marshall de los resultados obtenidos

Figura 33

Determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico

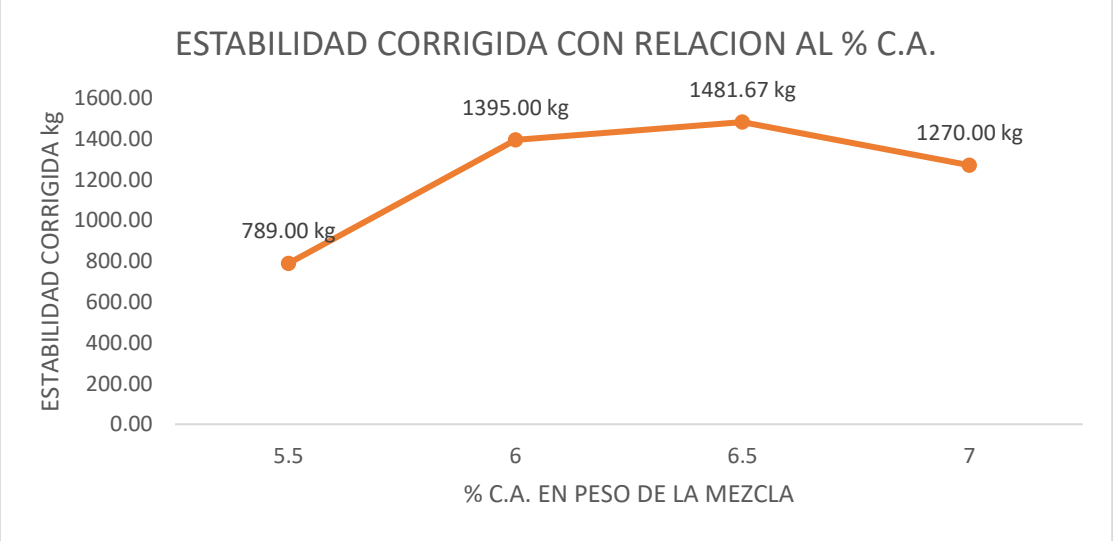


Nota. En la figura se muestra los gráficos del ensayo Marshall de la determinación del porcentaje optimo de cemento asfaltico.

4.1.7. Comparación De Los Resultados Obtenidos

Figura 34

Comparación de estabilidad promedio corregida con relación al % C.A.



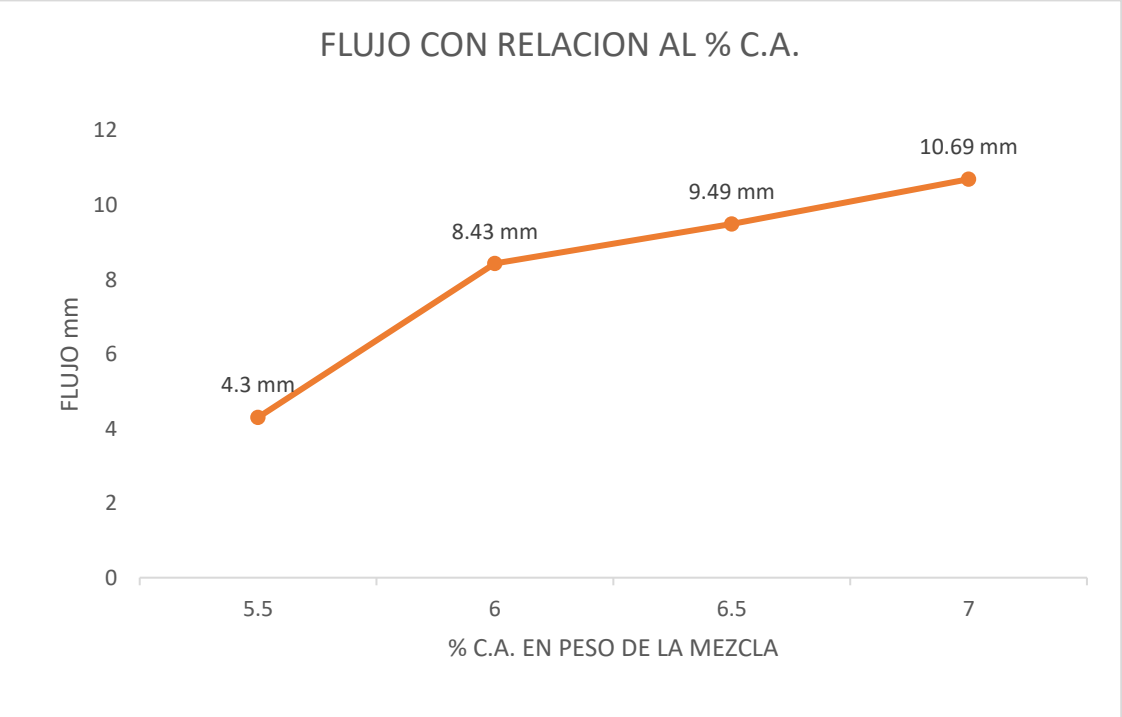
Nota. En la figura podemos ver la comparación de estabilidad promedio corregida con relación al % C.A.

INTERPRETACION:

Según la figura N°34 de comparación de estabilidad promedio corregida con relación al % C.A. se observa que al añadir 5.5 % C.A la estabilidad es 789.00 kg evidencia una resistencia baja, al aumentar 6.00% C.A. sube a 1395.00 kg mejora la resistencia, al aumentar 6.50% C.A. la estabilidad llega a 1481.67 kg lo que indica este porcentaje es la mejor estabilidad del diseño asfaltico y al añadir 7.00 % C.A. la estabilidad baja a 1270.00 kg este dato nos indica que el exceso de asfalto afecta negativamente la rigidez. El diseño de la mezcla asfáltica alcanza su máxima estabilidad con 6.50% C.A. aproximadamente, anterior a este resultado la estabilidad sube progresivamente al añadir con el porcentaje del 7.00% baja la estabilidad esto indica que el exceso que asfalto hace perder la capacidad de rigidez generando deformación plástica.

Figura 35

Comparación de flujo promedio con relación al % C.A.



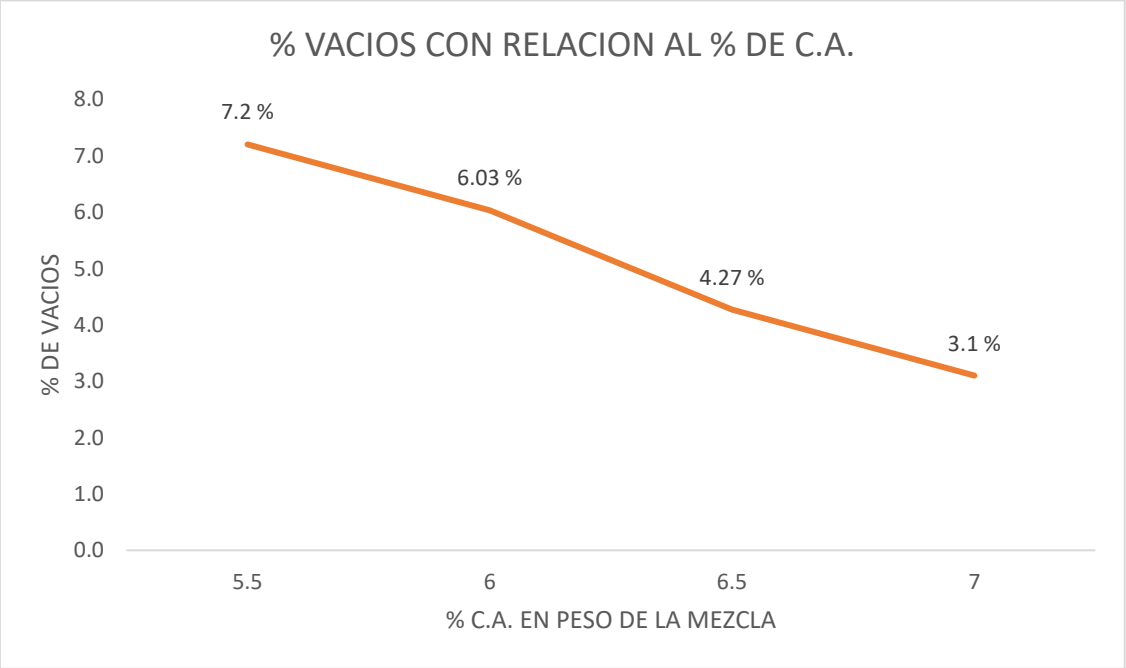
Nota. En la figura se muestra la comparación de flujo promedio con relación al % C.A.

INTERPRETACION:

Según la figura N°35 de comparación de flujo promedio con relación al % C.A. se evidencia al añadir 5.5% C.A. el flujo es 4.3 mm , seguidamente se aumenta 6.00% el C.A el flujo es 8.43 se continúa aumentando 6.50 % de C.A. llega a 9.49 mm y con 7.00% de C.A. Si el grosor supera los 10.69 milímetros, podemos concluir que al incrementar la proporción de cemento asfáltico, el flujo también se incrementa. Esto nos revela que la mezcla asfáltica es manipulable, aunque a medida que se eleva, puede desencadenar deformación si superamos el valor ideal. Razón por el cual el porcentaje adecuado debe seleccionarse tomando en cuenta el equilibrio entre la estabilidad y flujo.

Figura 36

comparación del % vacíos promedio con relación al % de C.A.



Nota. En la figura se muestra la comparación del % vacíos promedio con relación al % de C.A.

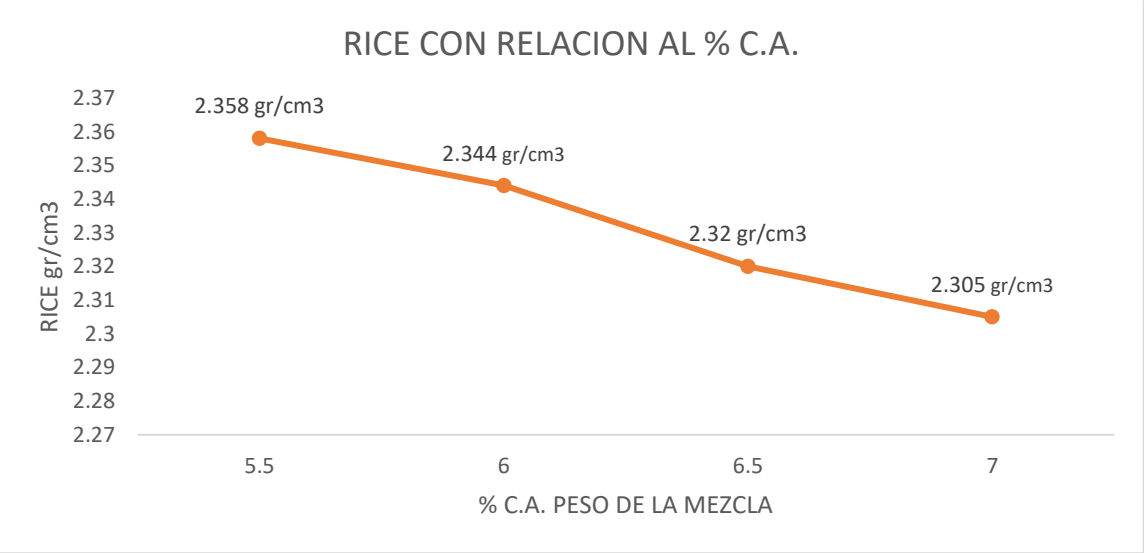
INTERPRETACION:

Según la figura N°36 de comparación del % vacíos promedio con relación al % de C.A. se llegó a los siguientes resultados con el 5.50 % de C.A. el porcentaje de vacíos es 7.2 % el más alto de todos los porcentajes, con el 6.00% de C.A. baja el porcentaje de vacíos a 6.03%, aumentar a 6.50% baja a 4.72%, cuando más de 7 % C.A. se aumenta el vacío disminuye a 3.01%. Al elevar la proporción de arcilla, los huecos se reducen notablemente. A mayor proporción de asfalto en la mezcla asfáltica, mayor será el cubrimiento sobre los agregados pétreos, lo que reduce la cantidad de vacíos en la estructura del pavimento. Si el porcentaje de vacíos seria superiores a 7% se tendría problemas de fragilidad, agrietamiento prematuro, deshilachado.

4.1.8. Comparación de los resultados rice obtenidos con % de c.a.

Figura 37

Comparación de los resultados rice promedio obtenidos con % de C.A.



Nota. En la figura se muestra la comparación de los resultados rice promedio obtenidos con % de C.A.

INTERPRETACION:

Según la ilustración número 37, se despliega un análisis minucioso de los datos del índice de equivalencia de arroz promedio y el porcentaje de asfalto, comparándolos con la densidad máxima prevista para la mezcla asfáltica. El primer porcentaje de cemento asfáltico, con un 5.5% de C.A., revela un rice de 2.358 gramos por centímetro cúbico. Al elevar el contenido de C.A. al 6.0%, el rice se reduce un poco hasta 2.344 kg/cm3. Al incrementar el contenido de C.A. a 6.50%, el rice se reduce aún más, alcanzando 2.32 kg/cm3. Continuando con un incremento del 7.00% en el C.A., se observa un descenso adicional en el rice, situándose en 2.305 kg/cm3. Con estos resultados se puede deducir que el contenido de asfalto una mezcla menos densa estos resultados se reflejan en la estabilidad, vacíos.

4.1.9. Resultados Del Diseño Mac – 2 Con Incorporación De Pet

Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 1.00 %)

Tabla 94

Resultado del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 1.00 %)

Numero de Especímenes	**Und.**	**1**	**2**	**3**	**Promedio**
% C.A. en peso de la Mezcla	%	6.44	6.44	6.44	
% PET	**%**	**1**	**1**	**1**	
Estabilidad corregida	Kg.	1816	1824	1811	1817
Flujo	mm	10.97	11.38	11.46	11.27
% de Vacíos	%	4	3.9	4.2	4.03

Nota. En la tabla podemos apreciar los resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 1.00 %)

INTERPRETACIÓN:

Según la tabla N°93 se tiene los siguientes resultados con el contenido de C.A. de 6.44% y la incorporación de PET al 1%, se tiene estabilidad promedio de los tres especímenes de 1817 kg= 17.82 KN, Flujo de 11.27 y el porcentaje de vacíos 4.03 %. La estabilidad tiene un valor superior que nos indica la resistencia a las cargas aplicadas, En el caso del flujo promedio se encuentra dentro de los parámetros en donde la deformación es moderada por lo que no puede fallar bruscamente la estructura y por último tenemos el % de vacíos también se encuentra dentro de los o parámetros esto quiere decir que hay buena compactación del diseño lo mejora a que no ingrese agua y que tenga mayor durabilidad de la capa de rodadura.

4.1.9.1. Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 2.00 %)

Tabla 95

Resultado del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 2.00 %)

Numero de Especímenes	**Und.**	**1**	**2**	**3**	**Promedio**
% C.A. en peso de la Mezcla	%	6.44	6.44	6.44	
% PET	**%**	**2**	**2**	**2**	
Estabilidad corregida	Kg.	1506	1503	1580	1529.6667
Flujo	mm	12.65	13	12.78	12.81
% de Vacíos	%	3.7	3.5	3.9	3.70

Nota. En la tabla se muestra los resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 2.00 %).

INTERPRETACIÓN:

Según la tabla N°94 indica los tres especímenes con porcentaje de peso de 6.44 C.A. y con la incorporación de plástico reciclado PET de 2% se tiene los siguientes resultados; la estabilidad corregida 1529.67 kg, Flujo de 12.81 mm, % de vacíos de 3.70%. La estabilidad nos indica la resistencia a las cargas que soporta la estructura el valor determinado es alto que tiene buena cohesión y capacidad. La incorporación de PET al 2% mejorar positivamente a la estabilidad, el flujo antes de fallar es 12.81mm que nos indica que el diseño tiene flexibilidad lo que ayuda a las deformaciones y el % de vacíos está dentro del parámetro permisible que una buena compactación favorable para la estructura.

4.1.9.2. Resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 3.00 %)

Tabla 96

Resultado del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 3.00 %)

Numero de Especímenes	Und.	1	2	3	Promedio
% C.A. en peso de la Mezcla	%	6.44	6.44	6.44	
% PET	**%**	**3**	**3**	**3**	
Estabilidad corregida	Kg.	496	726	795	672.33333
Flujo	mm	19.43	14.71	9.63	14.59
% de Vacíos	%	3.3	3.7	3.4	3.47

Nota. En la tabla se aprecia los resultados del ensayo estabilidad, flujo Marshall y % vacíos (PET 3.00 %).

INTERPRETACIÓN:

Según la tabla N°95 indica los tres especímenes con porcentaje de peso de 6.44 C.A. y con la incorporación de plástico reciclado PET al 3% tenemos los siguientes resultados promedios de los tres especímenes la estabilidad corregida 672.33 kg, el flujo promedio 14.59mm y el porcentaje de vacíos 3.47%. Podemos afirmar que la estabilidad baja significativamente a comparación del 1% y 2% de PET respectivamente este resultado de estabilidad nos indica baja capacidad de resistencia a las cargas aplicadas implica que el exceso de plástico reciclado PET debilidad al diseño y falla más rápido que es resto de las proporciones. En caso del flujo obtenido podemos indicar es mucho mayor que el resto de los de los porcentajes ensayados deduciendo que el flujo a mayor contenido de PET presenta mayor deformación plástica antes de la falla, cuando nuestro flujo es muy alto la capa de rodadura tiene un comportamiento muy flexible y que no

tiene una buena resistencia a las cargas aplicadas. Por otro lado, tenemos lo que es el porcentaje de vacíos podemos ver que está dentro del parámetro, pero la estabilidad y flujo no se encuentra dentro de los parámetros normativos. En resumen, la estabilidad de la mezcla se deteriora notablemente y el flujo se incrementa notablemente, lo que revela que la adición de un 3% de plástico reciclado transforma la mezcla asfáltica en una sinfonía de fragilidad y fragilidad, por lo que no es aconsejable para la creación de caminos. Solamente estaría bien el porcentaje de vacíos, por consiguiente, los porcentajes adecuados de PET son el 1% y 2% que resultaron según lo requerido a la normativa.

4.1.10. Resultados De Rice

4.1.10.1. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 1.00%)

Tabla 97

Resultado de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 1.00%)

Identificación Muestra		Unid.	1
1	Peso del material	gr.	1500
2	Peso agua + frasco	gr.	6798
3	Peso agua + frasco + material	gr.	8298
4	Peso agua + frasco + material (ensayo)	gr.	7644
5	Volumen	gr.	654
Peso Específico Máximo MAC, g/cm3		g/cm3	2.294

Nota. En la tabla se muestra los resultados de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 1.00%).

4.1.10.2. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 2.00%)

Tabla 98

Resultado de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 2.00%)

Identificación Muestra		Unid.	1
1	Peso del material	gr.	1500
2	Peso agua + frasco	gr.	6798
3	Peso agua + frasco + material	gr.	8298
4	Peso agua + frasco + material (ensayo)	gr.	7634.9
5	Volumen	gr.	663.1
Peso Específico Máximo MAC, g/cm3		g/cm3	2.262

Nota. En la tabla se muestra los resultados de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 2.00%).

4.1.10.3. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 3.00%)

Tabla 99

Resultado de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 3.00%)

Identificación Muestra		Unid.	1
1	Peso del material	gr.	1500
2	Peso agua + frasco	gr.	6798
3	Peso agua + frasco + material	gr.	8298
4	Peso agua + frasco + material (ensayo)	gr.	7619
5	Volumen	gr.	679
Peso Específico Máximo MAC, g/cm3		g/cm3	2.209

Nota. En la tabla se muestra los resultados de peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (PET 3.00%).

4.1.10.4. Gráficos de determinación del porcentaje óptimo de incorporación de PET.

Tabla 100

Resultado de gráficos de determinación del porcentaje óptimo de incorporación de PET.

TABLA DE OPTIMO % DE (PET 0.87%)	% Cemento Asfaltico en peso	Peso específico Probeta (gr/cc)	Vacíos (%)	Vacíos Agregado Mineral (%)	Vacíos Llenados con C. Asfaltico (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (kg.)	Factor de rigidez (Kg/cm3)
RESULTADO	6.44%	2.206	4.18	18.24	77.45	11.05	1691	3828
EG- MINIMO			3	14.8	65	8	815	1700
2013 MAXIMO			5	.		14	.	4000
(tabla								
423-								
06)								
APROBACION			SI			SI	SI	SI

Nota. En tabla se muestra los resultados de gráficos de determinación del porcentaje optimo de incorporación de PET.

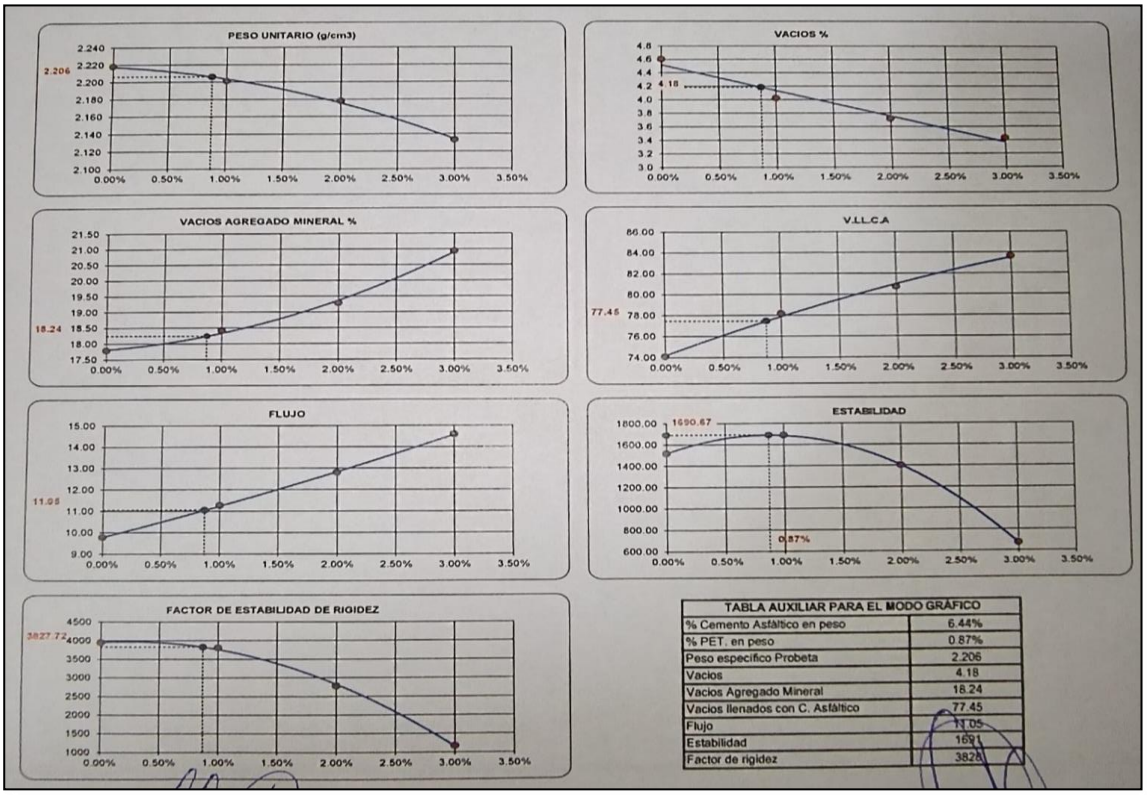
Tabla 101

Tabla auxiliar para el modo grafico

Tabla auxiliar para el modo grafico	
% cemento asfaltico en peso	6.44%
% PET en peso	0.87%
Peso específico probeta	2.206
Vacíos	4.18
Vacíos agregado mineral	18.24
Vacíos llenados con c. asfaltico	77.45
Flujo	11.05
Estabilidad	1691
Factor de rigidez	3828

Figura 38

Determinación del porcentaje óptimo de PET.

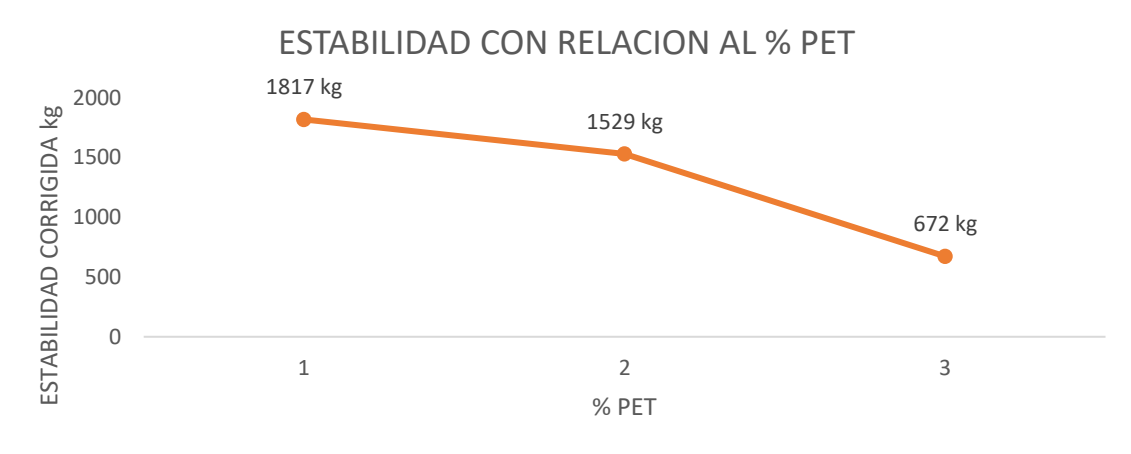


Nota. En la figura se muestra los resultados de la determinación del porcentaje óptimo de PET.

4.1.11. Comparación De Los Resultados Obtenidos Con Incorporacion De Pet

Figura 39

Comparación de estabilidad promedio con relación al PET



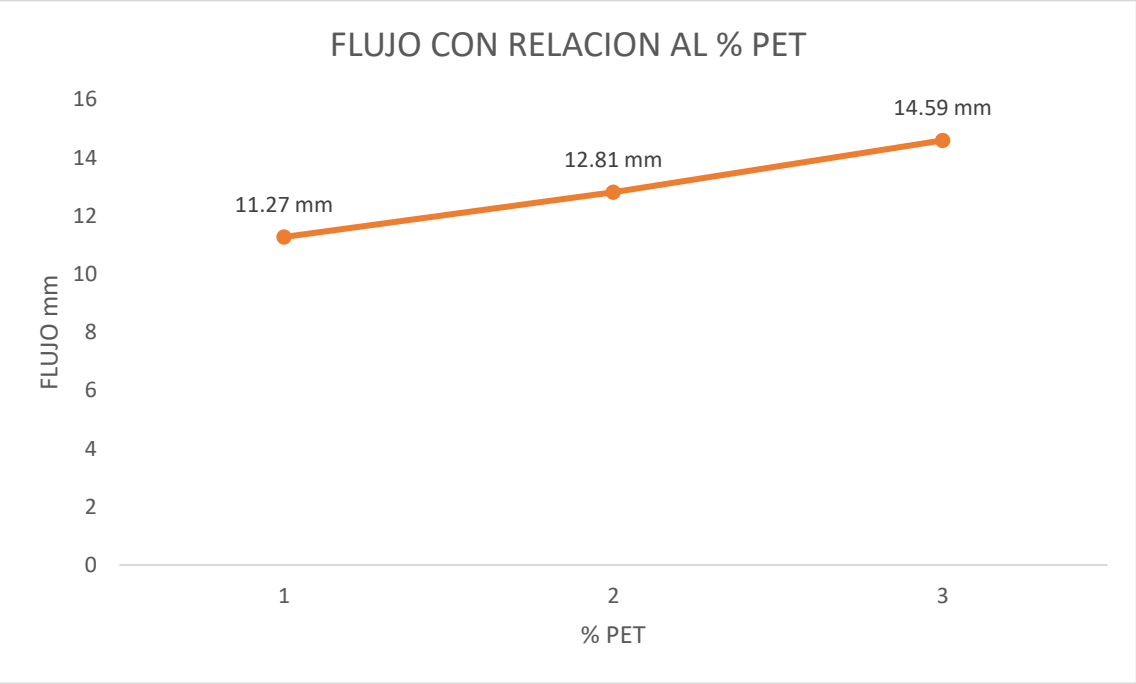
Nota. En la figura se está comparando los resultados de la estabilidad promedio con relación al PET.

INTERPRETACION:

De acuerdo con la figura número 39, que ilustra cómo la estabilidad promedio se ajusta según el porcentaje de PET, al tomar en cuenta el 1% de PET, observamos una estabilidad ajustada de 1817 kilogramos; al incorporar el 2% de PET reciclado en el diseño, la estabilidad ajustada se reduce a 1529 kilogramos; y, por último, al incorporar el 3% de PET reciclado, la estabilidad ajustada se reduce a 672 kilogramos. Al añadir un 1% de PET, se puede apreciar una estabilidad más robusta, lo que indica una robustez superior del asfalto frente a las cargas. Con un 2% de PET, esta estabilidad comienza a menguar, revelando una merma en la capacidad de sostener las cargas. Al incorporar el 3% de PET, la estabilidad se desvanece drásticamente, cayendo hasta un 50% en comparación con el 1%, lo que resulta en una estabilidad extremadamente deficiente para la capa de rodamiento.

Figura 40

Flujo promedio con relación al % PET.



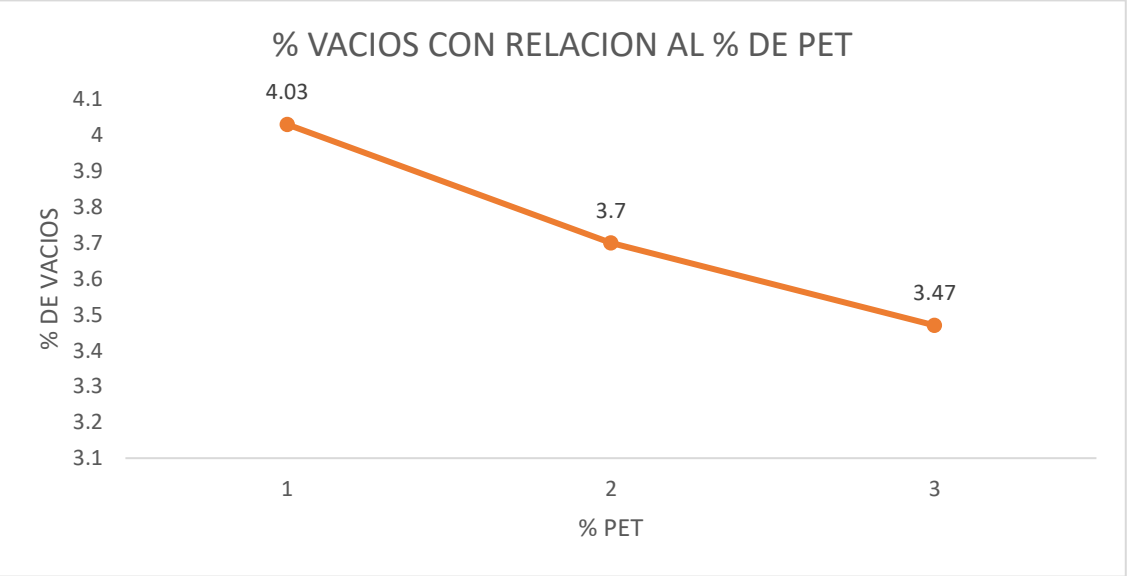
Nota. En la figura se puede ver la comparación según el número de especímenes el flujo promedio con relación al % PET.

INTERPRETAR:

De acuerdo con la ilustración número 40, el flujo promedio se ajusta al porcentaje de PET, oscilando entre un 1%, un 2% y un 3%. Al introducir un 1 % de PET plástico reciclado, observamos un flujo de 11.27mm; luego, al incorporar un 2 %, el flujo se eleva a 12.81mm, y, por último, al experimentar con un 3 %, el flujo se eleva hasta los 14.59mm. Al comparar los resultados de flujo, es evidente que la adición de PET provoca un incremento notable en el flujo, lo que se traduce en una deformación notable y una reducción notable en la rigidez del material. Si optamos por añadir demasiado PET, el producto final podría sufrir deformaciones; por lo tanto, es crucial emplear el máximo de plástico reciclado PET para garantizar la pureza del diseño.

Figura 41

Comparación % de vacíos promedio con relación al % de PET.



Nota. En la figura podemos verificar la comparación % de vacíos promedio con relación al % de PET.

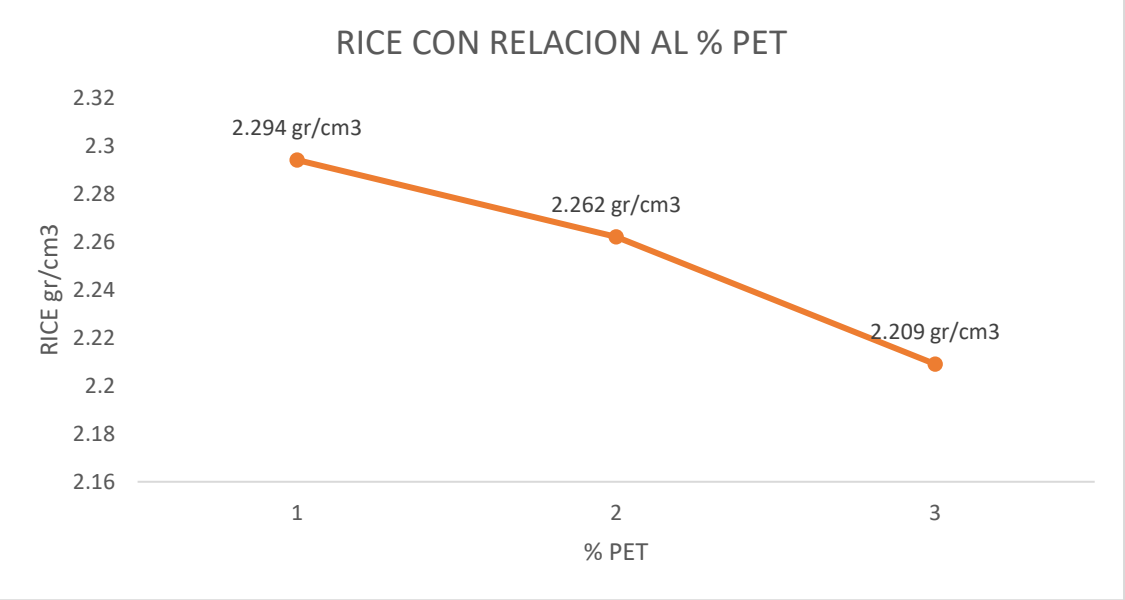
INTERPRETACION:

En la figura número 41, se muestra un análisis minucioso del porcentaje promedio de vacíos en comparación con el porcentaje de PET, abarcando cifras del 1%, 2% y 3%. Al realizar las pruebas de los especímenes, observamos que al añadir un 1% de PET reciclado, los vacíos alcanzan un 4.03%; al añadir un 2% de PET reciclado, los vacíos alcanzan un 3.7%; y al añadir un 3% de PET reciclado, los vacíos alcanzan un 3.47%. Al comparar los resultados del porcentaje de vacíos, se puede observar que al incrementar la cantidad de PET, el porcentaje de vacíos se reduce. Este fenómeno indica que el PET posee la habilidad de llenar los huecos desocupados en la estructura del asfalto en caliente. Por lo tanto, ciertos porcentajes de vacíos pueden afectar negativamente la longevidad del asfalto.

4.1.12. Comparación De Los Resultados Rice Obtenidos Con Incorporación De 00000000000

Figura 42

Comparación de rice promedio con relación al % PET.



Nota. En la figura se puede ver la comparación de rice promedio con relación al % PET que hay una variación de acuerdo a la incorporación de PET.

INTERPRETACION:

Respecto a la figura N°42 comparación de rice promedio con relación al % PET en proporciones de 1%, 2% y 3%. Al realizar el ensayo rice se tiene los siguientes resultados al incorporar PET la 1% al diseño de mezcla tenemos 2.294 gr/cm3 de rice, incorporando a los especímenes el porcentaje de 2% de PET reciclado se tiene 2.262 gr/cm3 y al incorporar a los especímenes el 3% de PET reciclado obtenemos el rice de 2.209 kg/cm3. Por consiguiente, se evidencia que a mayor cantidad de PET se incorpora a los especímenes se reduce considerablemente la densidad máxima teórica de la mezcla asfáltica.

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS (según método)

4.2.1. Resultados para la comprobación de hipótesis

Se realizo la prueba de normalidad para los resultados obtenidos en el estudio, se aplico la prueba de Shapiro-Wilk por tener muestras pequeñas, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 102

Prueba de normalidad.

	Dosificación	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Flujo (0.01 pulg)	PET 1.0%	0,869	3	0,292
	PET 2.0%	0,978	3	0,719
	PET 3.0%	1,000	3	0,960
Estabilidad corregida	PET 1.0%	0,974	3	0,688
	PET 2.0%	0,980	3	0,726
	PET 3.0%	0,912	3	0,424

Nota. En la tabla se aprecia la prueba de normalidad estadísticamente.

Se comprueba que el Flujo y la estabilidad corregida siguen una distribución normal puesto que las significancias para las diferentes dosificaciones son mayores a 0,05 lo que indica que se debe aplicar pruebas paramétricas para la comprobación de hipótesis.

4.2.1.1. Comprobación de la Hipótesis Especifica 1

Hipótesis: El diseño de mezcla asfáltica en caliente se determinará con la metodología Marshall con porcentajes de 1%, 2%, 3% de PET en donde la estabilidad y flujo mejoraran.

Planteamiento de Hipótesis para el Flujo

H0: El diseño de mezcla asfáltica en caliente se determinará con la metodología Marshall con porcentajes de 1%, 2%, 3% de PET en donde el flujo no mejora.

H1: El diseño de mezcla asfáltica en caliente se determinará con la metodología Marshall con porcentajes de 1%, 2%, 3% de PET en donde el flujo mejora.

Tabla 101

Prueba estadística

ANOVA

Flujo (0.01 pulg)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	16,562	2	8,281	1,030	0,413
Dentro de grupos	48,242	6	8,040		
Total	64,805	8			

Nota. En la tabla se aprecia la prueba estadística.

En este caso, el nivel de significancia de la prueba ANOVA no supera el nivel de 0,05. Indica que no se puede comprobar que el Flujo en el diseño de mezcla asfáltica en caliente mejore con porcentajes de 1%, 2%, 3% de PET.

4.2.1.2. Planteamiento de Hipótesis para la estabilidad

H0: El diseño de mezcla asfáltica en caliente se determinará con la metodología Marshall con porcentajes de 1%, 2%, 3% de PET en donde la estabilidad no mejora.

H1: El diseño de mezcla asfáltica en caliente se determinará con la metodología Marshall con porcentajes de 1%, 2%, 3% de PET en donde la estabilidad mejora.

Tabla 103

Prueba estadística

ANOVA

Estabilidad corregida

	Suma cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1651579,556	2	825789,778	100,800	0,000
Dentro de grupos	49154,000	6	8192,333		
Total	1700733,556	8			

Nota. En la tabla podemos ver la prueba estadística.

Analizando la estabilidad, se pude comprobar que el nivel de significancia de la prueba ANOVA es menor a 0,05. Lo que nos proporciona evidencia de que la estabilidad corregida en el diseño de mezcla asfáltica en caliente mejor con la aplicación de 1%, 2%, 3% de PET.

4.2.1.3. Comprobación de la Hipótesis Especifica 2

Hipótesis: El porcentaje óptimo de la incorporación de plástico reciclado PET mejora la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas.

4.2.1.4. Planteamiento de Hipótesis para el Flujo

H0: El porcentaje de la incorporación de plástico reciclado PET no mejora la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas.

H1: El porcentaje de la incorporación de plástico reciclado PET mejora la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas.

Prueba estadística

Se analizo la estabilidad corregida puesto que los resultados anteriores de la prueba ANOVA indica que, si hay diferencia entre las diferentes dosificaciones de PET, en cambio en el caso del flujo no se evidencio esa diferencia.

Tabla 104

Comparaciones

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Estabilidad corregida

HSD Tukey

(I) Dosificación	(J) Dosificación	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95% Límite inferior	Límite superior
PET 1.0%	PET 2.0%	288,667*	73,902	0,019	61,91	515,42
	PET 3.0%	1018,000*	73,902	0,000	791,25	1244,75
PET 2.0%	PET 1.0%	-288,667*	73,902	0,019	-515,42	-61,91
	PET 3.0%	729,333*	73,902	0,000	502,58	956,09
PET 3.0%	PET 1.0%	-1018,000*	73,902	0,000	-1244,75	-791,25
	PET 2.0%	-729,333*	73,902	0,000	-956,09	-502,58

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Nota. En la tabla se puede ver las comparaciones de porcentajes PET.

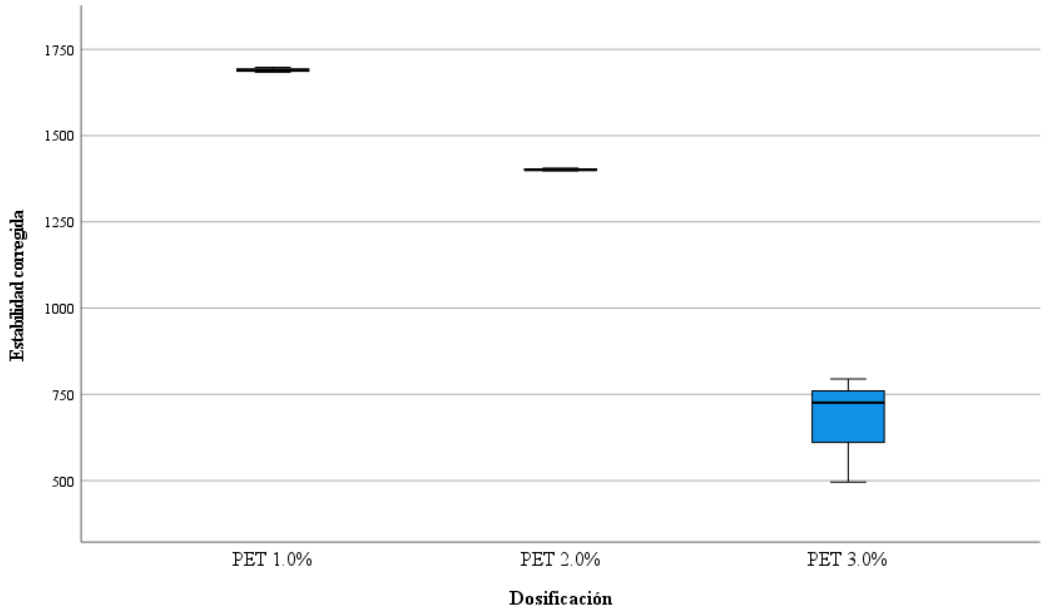
Tabla 105

Estabilidad corregida HSD Tukey[a]

		Subconjunto para alfa = 0.05		
Dosificación	N	1	2	3
PET 3.0%	3	672,33		
PET 2.0%	3		1401,67	
PET 1.0%	3			1690,33
Sig.		1,000	1,000	1,000

Nota. En la tabla se puede apreciar la comparación de estabilidad corregida. Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.



La prueba de Tukey no revela una brecha notable entre la inclusión del polietilentereftalato, ya que la significancia de la prueba es inferior a 0,05 en cada una de las comparaciones. Según los promedios que hemos llevado a cabo, podemos concluir que la adición de PET al 1% genera un total de 673,33 kilogramos, lo que podría ser considerado como la dosis ideal.

4.2.1.5. Comprobación de la Hipótesis Especifica 3

Hipótesis: La incorporación de plástico reciclado PET es viable por la mejora en las propiedades mecánicas de la capa de rodadura que son resistente a los cambios climáticos.

4.2.1.6. Planteamiento de Hipótesis para el Flujo

H0: El porcentaje de la incorporación de plástico reciclado PET no mejora la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas.

H1: El porcentaje de la incorporación de plástico reciclado PET mejora la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas.

Tabla 106

Prueba estadística

Estadísticas para una muestra				
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Flujo (0.01 pulg)	9	12,8900	2,84616	0,94872
Estabilidad Corregida	9	12,3032	4,52090	1,50697
% de vacíos	9	3,722	0,3114	0,1038

Nota. En la tabla se muestra la prueba estadística.

Tabla 107

Pruebas comparativas con el estándar establecido por la norma

	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias
Flujo (0.01 pulg) > 8mm	5,154	8	0,001	489,000
Estabilidad > 8,15 KN	2,756	8	0,025	4,15322
% de vacíos > 3%	6,959	8	0,000	0,7222

Nota. En tabla se puede ver las pruebas comparativas con el estándar establecido por la norma.

En conjunto, los hallazgos de las pruebas de t de Student para un valor establecido evidencian con claridad que los promedios de flujo, estabilidad y porcentaje de vacíos en las mezclas con plástico reciclado PET superan con notable claridad los estándares técnicos actuales, incluso superando la significancia estadística de 0,05.

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este estudio sobre la adición de plástico reciclado de polietileno tereftalato (PET) en la creación de una mezcla asfáltica en caliente, se han realizado diversas pruebas de laboratorio para examinar meticulosamente la excelencia de los agregados empleados en su creación. El 6.44% de cemento asfáltico en peso garantiza una estabilidad de 1518 gramos por centímetro cúbico, un flujo de 9.78 mm y un 4.62% de vacíos. La fortaleza y longevidad del asfalto se multiplican con la presencia de más betún en su composición. Es evidente que, una vez superado el umbral, el porcentaje siguiente se desvanece. Este fenómeno revela que el diseño satisface los requisitos establecidos con precisión. Asimismo, el flujo se mantiene en los límites aceptables, revelando una excelente elasticidad del pavimento. En cuanto al porcentaje de vacíos, se considera que cumple con las normas EG-2013 de la tabla 423-06, lo cual es adecuado y contribuye a evitar que el asfalto se desgaste. Al calcular la proporción ideal de asfalto, se ha incorporado plástico reciclado de tipo PET en diversas dosis, tales como un 1%, un 2% y un 3%, a las muestras seleccionadas para el diseño de la mezcla en caliente. Este esquema ya disponía del 6.44% de cemento asfáltico ideal. Los hallazgos revelaron que el 1% de plástico reciclado PET alcanzó una estabilidad de 1691 kilogramos por centímetro cúbico, un flujo de 11.05 milímetros y un 4.18% de vacíos. La solidez estructural es un pilar

esencial que revela nuestra habilidad para soportar las diversas cargas ejercidas. En cuanto al flujo promedio, se encuentra en una zona donde la deformación se mantiene bajo control, impidiendo así desmoronamientos imprevistos en la estructura. Finalmente, la proporción de vacíos está en su punto máximo, lo que revela una compactación óptima del diseño, elevando así la impermeabilidad y la longevidad de la capa de rodadura. Todo lo estipulado en el documento está alineado con las directrices de la normativa EG – 2013. El escritor (Garzón, Lopera, & Chica, 2019) lleva a cabo una minuciosa investigación sobre la creación de una mezcla asfáltica en caliente, desmenuzando las proporciones de asfalto empleadas en el procedimiento. En su estudio, se descubre que al sustituir un 5%, 7.5% y 10% de PET, la mezcla experimenta transformaciones notables en su estabilidad. Es crucial subrayar que al incorporar el PET en diversas dosis, se observa una merma en la estabilidad durante el ensayo de Marshall. Al incorporar un 5% de PET, la estabilidad se eleva a 1438 kgf, lo que nos lleva a concluir que este porcentaje es el ideal. Al aumentar la cantidad de plástico reciclado PET, la solidez del asfalto se desvanece lentamente, lo que nos lleva a elegir el 5% como la medida ideal para mantener su excelencia. El escritor (Rueda, 2023) ejecuta el diseño Marshall, estableciendo que la proporción ideal de cemento asfáltico es del 4%. La meta primordial era elevar la estabilidad de las dos mezclas alteradas, y se descubrió que el 1.5% de PET otorgó resultados más destacados en cuanto a rendimiento. En cuanto a la economía, es imposible realizar la totalidad del diseño de mezclas, por lo que se ha optado por la mezcla modificada de PET en un 1.5%. Para el experimento de rueda de Hamburgo, se analizan y contrastan los descubrimientos con los de la mezcla asfáltica convencional, con el propósito

de evaluar su desempeño y robustez ante el tráfico y el clima caprichoso. Este análisis es crucial para evaluar la efectividad y longevidad de la innovadora tecnología en la edificación de caminos. Después de realizar los experimentos adecuados, se detectó una deformación mínima tras realizar 20,000 ciclos con una concentración del 1.5% de polietilentereftalato (PET). El autor (Angulo, 2024) señala en su estudio que el contenido ideal de cemento asfáltico es de 5.8%. A continuación, se añadió el 1%, 3%, 5% y 7%. En el estudio, se contabilizan 105 briquetas de forma cilíndrica. Los materiales seleccionados han sido sometidos a un meticuloso ensayo de Marshall, que analiza minuciosamente sus características mecánicas y físicas. Este análisis es crucial para asegurar la excelencia y robustez de los materiales empleados en la edificación de caminos. El análisis revela que el 1% ideal de tereftalato de polipropileno se presenta con diminutas escamas. Este proceso se ha realizado considerando el peso total de los áridos, elevando así la estabilidad de la mezcla asfáltica alterada. Los escritores mencionados (Kendy, Martínez y Temple, 2024) realizaron una minuciosa investigación. El estudio se basó en el método Marshall, que reveló un peso ponderado de 1273 kilogramos. Con la incorporación del 1,5%, 3% y 4,5% de plástico reciclado PET, se detectaron aumentos en el peso de 618 kilogramos, 367 kilogramos y 191 kilogramos debido a la adición. A continuación, la muestra patrón exhibe un flujo ponderado de 12.8 milímetros, incrementándose en un 1.55% y un 4.5%, con incrementos de 0.9 milímetros, 1.6 milímetros y 3.1 milímetros, respectivamente. Además, resulta crucial destacar la notable cantidad de áreas sin completar detectadas en la muestra analizada, que mostró un promedio ponderado de 4.2%. Al incorporar porcentajes extra como el 1.5%, el 3% y el 4.5%, los datos mostraron un aumento

del 0.4%, 0.7% y 1.5%, respectivamente. Es crucial subrayar que al incorporar un 3% de PET en el procedimiento, los resultados alcanzan con exactitud las directrices dictadas por el ministerio de transportes y comunicaciones. El principal investigador del estudio (CORBACHO, 2019) ha utilizado la técnica de Marshall para determinar la proporción ideal de cemento asfáltico en la mezcla tradicional empleada en la edificación de caminos. En una fase posterior del proceso, se ha implementado una metamorfosis en el esquema inicial, incorporando fibras de PET en lugar del árido fino seco previamente empleado. Este ajuste se ha llevado a cabo para determinar la dosis ideal de fibras de PET en el producto final. En una fase posterior, se ha llevado a cabo el ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo para medir el ahuellamiento y la habilidad de la sustancia para almacenar agua en su interior. En esta investigación, se ha adaptado el ensayo de Lottman para medir la tenacidad y el impacto de la humedad, además del módulo de resiliencia, buscando desentrañar la elasticidad del material bajo cargas. Para finalizar, se realizó una minuciosa evaluación de cada uno de los aspectos del método Marshall, con el fin de medir tanto la inclusión como el reciclaje de PET. Se determinó que la proporción ideal de cemento asfáltico modificado es del 6.15%, mientras que la incorporación de PET representa un 1.2%. El equilibrio alcanzado alcanzó 856.3 kg y el torrente de 14.7 (0.25 mm). Es crucial subrayar que estos hallazgos satisfacen las exigencias de la MTC E-504, conforme a la EG 2013. En su investigación, Vilca y Mestas (2023) se aventuran a desentrañar de manera comparativa las características y atributos del concreto asfáltico tradicional y su versión remodelada con tereftalato de polietileno y polímeros, añadiendo partículas de la cantera Cabanilla, en el departamento de Puno, a lo largo del 2022. Se llevó a

cabo el experimento para calcular la proporción de vacío aéreo, además de examinar la estabilidad y el flujo en cada muestra. Se llevaron a cabo tres ensayos para el diseño y luego se incorporaron los polímeros al proceso. Se observan los siguientes hallazgos: el 3.56% de vacío en la mezcla clásica se transforma en un 2.00%, 4.00% y 8.00%, respectivamente. Al integrar el PET+SBS, se logró un rendimiento del 3.77%, 4.16% y 5.27%, con tasas del 3.75%, 4.12% y 5.15%, respectivamente. En la mezcla tradicional, el torrente se eleva a 1287.30 kilogramos y se extiende a 12.93 milímetros. Con la adición de PET en porcentajes del 2.00%, 4.00% y 8.00%, logramos un flujo de 12.67mm, 13.27mm y 16.33mm, manteniendo una estabilidad de 1235.21 kg, 1308.64 kg y 1326.09 kg. Al mezclar PET+SBS en dosis del 2.00%, 4.00% y 8.00%, se percibe un torrente de 12.53mm, 13.20mm y 16.00mm, con una estabilidad de 1289.53 kg, 1314.49 kg y 1330.20 kg, respectivamente. La investigación revela que, al añadir un 4.5% de PET, tanto el PET como el PET+SBS cumplen con las normas vigentes. Gallegos, en su estudio del 2023, ha optado por adoptar la metodología sugerida por Marshall para su estudio. En el laboratorio, se realizó la creación tradicional de briquetas con contenidos de PEN de 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7%. Al llevar a cabo los experimentos, se descubrió que el cemento asfáltico ideal es del 6.13% (PEN 120-150). Posteriormente, se llevó a cabo la creación del esquema de la mezcla asfáltica de Marshall, la cual fue metamorfoseada al incluir un 5%, 6%, 6.5%, 7%, 7.5% y 8% de PET. Al implementar la incorporación del plástico reciclado, se determinó con exactitud que el porcentaje ideal de PET es del 6.57%. Al concluir el estudio, se determina que incorporar fibras de PET reciclado en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente aporta una notable mejora en la excelencia física y mecánica del asfalto.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se ha realizado una evaluación de la influencia del plástico reciclado PET en el diseño de la mezcla asfáltica en caliente, basándose en los porcentajes de incorporación del PET. Con la incorporación del 1% de PET, la estabilidad se incrementa significativamente, mientras que con el 2% de PET, la estabilidad disminuye considerablemente. Con el 3% de PET, la estabilidad disminuye significativamente en comparación con los demás porcentajes. Cabe destacar que los porcentajes elevados de PET impactan negativamente en la estabilidad, dado que la incorporación de PET debe ser mínima, dado que el 3% de PET impacta negativamente en la estabilidad.

SEGUNDA: Se ha determinado el diseño de la mezcla asfáltica en caliente con la integración de PET se estableció mediante la aplicación de la metodología Marshall. Con un 1% de polietileno tereftalato (PET), se obtiene una estabilidad de 1690 kg, un flujo de 11.27mm y un porcentaje de vacíos del 4%. Al incrementar el 2% de PET, se observa una reducción en la estabilidad a 1402 kg, un incremento en el flujo a 12.81mm y una leve disminución en el porcentaje de vacíos al 3.7%. En última instancia, con un 3% de PET, la estabilidad disminuye a 672 kg, el flujo se incrementa a 14.59mm y el porcentaje de vacíos disminuye aún más, alcanzando el 3.4%. Al examinar los hallazgos con respecto a los diversos porcentajes de PET, se constata que el 1% de PET se encuentra dentro de los parámetros prescritos por la normativa de la MTC.

TERCERA: Se calculó el porcentaje óptimo de la incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente en donde se calculó que el porcentaje optimo es 0.87% PET la estabilidad es 1691 kg, el flujo es 11.05, el porcentaje de vacíos es 4.18% puesto que sería considerable trabajar con el 1% de PET. La estabilidad tiene un valor superior que nos indica la resistencia a las cargas aplicadas, En el caso del flujo promedio se encuentra dentro de los parámetros en donde la deformación es moderada por lo que no puede fallar bruscamente la estructura y por último tenemos el % de vacíos también se encuentra dentro de los o parámetros esto quiere decir que hay buena compactación del diseño lo cual mejora a que no ingrese agua y que tenga mayor durabilidad de la capa de rodadura.

CUARTA: Se llevó a cabo un meticuloso análisis de viabilidad, basándose en los hallazgos derivados de la integración de plástico reciclado de tipo PET en un porcentaje del 0.87 % en la tabla 423-06 que especifica los requisitos para la fabricación de concreto asfáltico en el contexto de la Especificaciones técnicas Generales del año 2013 es viable según la normativa. Estos criterios incluyen la estabilidad (valor mínimo requerido), la fluidez (0.25 milímetros) y el contenido de vacíos con aire. En el caso de que los hallazgos derivados de la ejecución del experimento en el laboratorio satisfagan los criterios estipulados en la regulación de la EG-2013, se puede inferir que la investigación ejecutada es viable conforme a los estándares actuales de la normativa pertinente.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda a las futuras investigaciones emplear porcentajes superiores a 4%,5%, 6% para verificar el comportamiento de influencia al incorporar PET reciclado en las mezclas asfálticas en caliente con el bitumen PEN 120/150, empleando metodología Marshall se podrá verificar el aumento y la disminución de la estabilidad como también se debe determinar el flujo cuando asciende o desciende incorporando los plásticos reciclados al diseño de mezcla asfáltica.

SEGUNDA: Se recomienda a otras investigaciones incorporar otros tipos de plásticos reciclados como polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y también plásticos mixtos o multicapas, para comparar su desempeño con el PET en el diseño de mezclas asfálticas en caliente.

TERCERA: Los plásticos reciclados utilizados en las investigaciones, se deben de tomar en cuenta sus propiedades porque cada uno de ellos tienen diferentes grados de fusión ya que, al emplear en la combinación con los agregados, cemento asfaltico estas varían en su grado de fusión, los ensayos se realizan a temperaturas de 145 °C a 150 °C ya que otros tipos de plástico se fusionan más rápido esto influye cuando la temperatura es extrema a lo mencionado en el diseño de mezcla asfáltica.

CUARTA: Se recomienda tener consideraciones en el porcentaje de vacíos con la normativa vigente de acuerdo a la EG-2013 es de 3% a 5%,

los porcentajes de vacíos influyen significativamente cuando sean mayores los huecos de aire permite que el agua entre y perjudique al pavimento, cuando el aire es bajo produce la formación de roderas empujando, enrojecimiento o sangrado en la capa de rodadura por ello tener mucho cuidado.

QUINTA: Se propone a las futuras investigaciones evaluar porcentaje inferiores a 1% de PET, con la finalidad de determinar con mayor precisión las variaciones que ocurre al incorporar los plásticos reciclados al diseño de mezcla.

SEXTA: Se recomienda realizar estudios de laboratorio y estudios de campo para evaluar la comparación de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica modificado bajo condiciones reales de tráfico vehicular con otros ensayos como rueda de Hamburgo, módulo de resiliencia y lottaman para determinar la fatiga y la susceptibilidad a la humedad.

SETIMA: Se recomienda a las entidades encargadas de la construcción de infraestructuras viales consideren en sus estudios de diseño de mezcla asfáltica en caliente la utilización de PET reciclado en proyectos piloto, debido a los beneficios técnicos y ambientales observados en la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gallegos, K. (2023). *Influencia de la adición de fibras de polietileno de botellas de plástico reciclado en propiedades físico – mecánicas de lasmezclas asfálticas en caliente, Juliaca, 2022.* Juliaca: Universidad Peruana Union.

Tapia, M. (2010). *Pavimentos.* Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

Agha, N., Arshad , H., Agha, S., & Yanjun, Q. (2023). *Performance Evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) Containing Polyethylene Terephthalate (PET) Using Wet and Dry Mixing Techniques.* China: Beata Kaczmarek and Marcin Wekwejt.

Angulo , A. (2024). *Incorporación de plástico reciclado PET en mezcla asfáltica en caliente Modificada.* Chiclayo: Universidad Catolica Santo Toribio de Mogrovejo.

Asphalt Institute. (2014). *Asphalt Mix Design Methods.* USA: Copyright.

Asphalt, I. (2007). *The asphalt Handbook.* USA: ISBN.

Copeland, A., & Willis , R. (2019). *Design & Construction of Heavy-Duty Pavements.* New Jersey: Quality Improvement Series.

CORBACHO, J. (2019). *Analisis de la Estabilidad Marshall y la Deformacion Permanente Mediante el Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo de una Mezcla Asfaltica Modificada en Caliente con Fibras de Tereftalato de Polietelino Reciclado en la Ciudad del Cusco-2018.* Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco .

EG. (2013). *Manual de Carreteras.* Lima: MTC.

Fierro, J., & Valencia , A. (2021). *Mezcla Asfaltica Modificada con Pet Caracteriscas que Aporta el Pet (Polietileno Tereftalano) en la Mezcla de Asfalto.* Bogota: Universidad Catolica de Bogota.

Garzón, U., Lopera , J., & Chica , D. (2019). *Evaluación de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas modificadas con PET.* Colonbia: Universidad Cooperativa de Colonbia.

Hernandez, R., Hernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodologia de la investigacion.* Mexico: Mcgraw-hill.

Highway. (1982). *Principles of Construction of Quality Hot-Mix Asfhalt Paviments.* Washington: Highway.

Kendy, J., Martínez, D., & Temple, E. (2024). *Influencia de un pavimento ecológico con PET reciclado en el sector de 3 de octubre.* Chimbote: Figempa.

Menendez, J. (2009). *Ingenieria de Pavimentos.* Lima: ICG.

Napa. (2001). *Pavement Selection Guide.* Washington: Office of Pavement Technology.

Neville, A. (2013). *Properties of de concrete.*

Palella, S., & Martins, F. (2006). *Metodologia de la Investigacion Cuantitativa.* Caracas: Fedupel.

Pedersen, N. (2011). *A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary.* Washington: Sterling.

Peerapong, J., Korakod, N., Wat, T., & Ghim, C. (2023). *Development of a modified Marshall mix design for Hot-mix asphalt concrete mixed with recycled plastic based on dry mixing processes.* Thailand: Elsevier Ltd.

Rueda, L. (2023). *Análisis de viabilidad de pavimentos asfálticos adicionando tereftalato de polietileno y polipropileno reciclado en Guatemala.* Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.

Southern African Bitumen Association. (2014). *Asphalt mix design manual for South Africa.* Sabita: Howard Place.

Suca, N. (2019). *Metodologia de la Investigacion Cientifica y Tecnologica en Ingenieria Civil.* Puno: Una - Puno.

Sucari, W., Sucari, H., Calsin, M., Mamani, J., Choque, C., & Gil, I. (2024). *Paradigmas y Metodos de la Investigacion Cientifica.* Puno: Instituto Universitario de Innovacion Ciencia y Tecnologia Inudi Peru S.A.C. .

Thom, N. (2008). *Principles of Pavement Engineering.* USA: University of Nottingham.

Vilca, O., & Mestas, M. (2023). *Analisis comparativo del Diseño de Mezcla Asfaltica en Caliente Convencional y Modificado con Polimeros y Terettalato de Polietileno Usando Agregados de Cantera Cabanilla, Puno 2022.* Puno: Universidad Nacional de Puno.

Wangdi, P. (2005). *Pavement Design Manual.* Bhutan: Department of Roads.

ANEXOS

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

ANEXO 1 Matriz de consistencia

Título de la investigación: INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS							
Investigador (a): Ivan Ayamamani Gutiérrez							
Problema	**Objetivos**	**Hipótesis**	**Variables**	**Dimensiones**	**Indicadores**	**Valoración**	**Metodología**
Problema general	**Objetivo general**	**Hipótesis general**		Propiedades físicas	-Fusión -Densidad Resistencia mecánica	°C g/cm3 Mpa	**Enfoque:** Cuantificativo Tipo de investigación: Aplicado **Nivel de investigación**: Explicativo **Diseño de investigación:** cuasi-experimental **Método de investigación:** Método científico **Población:** La población está conformada de la incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente con los agregados piedra chancada, arena chancada y arena natural de la cantera Cabanillas; que han sido utilizados para la construcción de pavimentos flexibles en la región de Puno. La cantera se ubica en el distrito de Cabanillas **Muestra:** La muestra para el diseño de mezcla asfáltica en caliente el número de
P.G. ¿Cómo incide la incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas?	O.G. Evaluar la incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas.	H.G. La incorporación de plástico reciclado PET incide significativamente en el diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas.	**Variable independiente** INCORPORACIÓN DE PLASTICO RECICLADO PET	- Tipo -Forma de plástico reciclado	- PET. - incorporación (triturado)	gr.	
				-Porcentaje de incorporación de plástico PET - Adquisición	- Variabilidad del porcentaje 1%,2%,3% de PET -Costo -Presentación	% Sin costo Pet triturado.	
Problemas Específicos	**Objetivos específicos**	**Hipótesis específicas**		Tamaño de partícula	PET Triturado	Mm	
P.E.1. ¿Cómo determinar el diseño de mezcla asfáltica en caliente la estabilidad y flujo con la metodología Marshall incorporando pet de 1%, 2%, 3% para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera cabanillas?.	O.E.1. Determinar el diseño de mezcla asfáltica en caliente la estabilidad y flujo con la metodología Marshall incorporando pet de 1%, 2%, 3% para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera cabanillas.	H.E.1. El diseño de mezcla asfáltica en caliente se determinará con la metodología Marshall con porcentajes de 1%, 2%, 3% de pet en donde la estabilidad y flujo mejoraran.	**Variable dependiente** DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA	Propiedades Físicas	-Volumen de vacíos -Contenido de cemento asfaltico -Vacíos llenos de cemento asfaltico (VFA) -Vacíos llenos de agregado mineral (VMA).	% % % %	
P.E.2. ¿Cuál es el porcentaje óptimo de incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de	O.E.2. Calcular el porcentaje óptimo de incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de	H.E.2. El porcentaje óptimo de la incorporación de plástico reciclado PET mejora la capa de rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas.		Propiedades Mecánicas	-Flujo -Estabilidad -Rigidez -Peso unitario	mm Kg Kg/cm Kg/cm3	

rodadura con los agregados de la cantera Cabanillas?	rodadura con los agregados de la cantera cabanillas.						muestras es 13 especímenes en diferentes proporciones 4 especímenes convencional y 9 especímenes modificados con plástico reciclado PET con los siguientes porcentajes de 1%,2%,3%. **Técnica**: Ensayo Marshall Recolección de muestras Estudio de mecánica de suelos Observación Trabajo de gabinete **Instrumento:** Maquina Marshall Ficha técnica de estudio Laboratorio se suelos y pavimentos. Materiales y implementos de oficina.
P.E.3. ¿Es viable la incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera cabanillas?	O.E.3. Analizar la viabilidad de la incorporación de plástico reciclado PET al diseño de mezcla asfáltica en caliente para mejorar la capa de rodadura con los agregados de la cantera cabanillas.	H.E.3. La incorporación de plástico reciclado PET es viable por la mejora en las propiedades mecánicas de la capa de rodadura que son resistente a los cambios climáticos.	**Variable interviniente** AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS	Propiedades físicas de los Agregados	-Desgaste -Densidad -Peso especifico -Sales solubles totales -Absorción -Equivalente de arena	% Gr/cm3 Gr/cm3 Ppm % %	

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital [X] Fecha de entrega: 22 – 06 - 2026

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: IVAN AYAMAMANI GUTIERREZ
Dirección: Jr. Esquen s/n un. La capilla
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70217381
Teléfono: 916 151 179 email: ivancitoaguti@gmail.com
Nombres y Apellidos:
Dirección:
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:
Teléfono: email:
Facultad y/o Escuela de Posgrado: FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Escuela Profesional o Mención: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL
Asesor: Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:
Trabajo de Investigación [ ] Tesis [X] Trabajo de Suficiencia Profesional [ ] Trabajo Académico [ ]
Título: INCORPORACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO AL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA MEJORAR LA CAPA DE RODADURA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA CABANILLAS

Palabras claves, (3 a 5 términos): INCORPORACIÓN, PLÁSTICO RECICLADO, PET, DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA, CAPA DE RODADURA.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV [1, 2]?

1

[1] Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.
[2] Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

2. Referencia de tesis:

[ ] Bachiller [X] Titulo [ ] 2da Especialidad [ ] Maestría [ ] Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

[X] Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.

[ ] Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____

[ ] No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comérciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

[ ] Sí autorizo

[X] No autorizo

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/

TESIS UANCV
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
"OFICINA DE INVESTIGACIÓN"

Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral**. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

☐ Internacional

☒ Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17



Firma de Autor | huella digital | 22 – 06 - 2026 Fecha

OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/
OFICINA DE INVESTIGACIÓN
Tesis Publicada con autorización del autor
http://repositorio.uancv.edu.pe/