



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA
Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE
BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

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

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA
Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE
BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

PRIMER MIEMBRO

:

Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

SEGUNDO MIEMBRO

:

Dr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

ASESOR DE TESIS

:

Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



RESOLUCIÓN DECANAL N° 031-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 07 de enero del 2025

VISTO: El expediente N° 2025- 242 presentado por el (la) Bachiller: **JUAN MANUEL GOSME ALARCON** 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. **JUAN MANUEL GOSME ALARCON**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** 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. MILTHON QUISPE HUANCA
- **1er Miembro** : Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
- **2do Miembro** : Dr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

ARTICULO SEGUNDO. – RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, Mgtr. **FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**.

ARTICULO TERCERO. – APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **JUAN MANUEL GOSME ALARCON**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- **FECHA** : jueves 09 de enero del 2025
- **HORA** : 12:00 horas
- **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

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790

CC:
Archivo
Intersección (a)



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

Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 939-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 04 de setiembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 10366 por el señor (a): **JUAN MANUEL GOSME ALARCON** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 834- 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 158- 2024 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): **JUAN MANUEL GOSME ALARCON**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO**, 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. Arnaldo Yana Torres** 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° 158- 2024 **aproband** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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): **JUAN MANUEL GOSME ALARCON**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**.

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 CS. PURASMILTON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS
Dr. Elfrán Porillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo
interesado (u)

**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"****RESOLUCIÓN DECANAL N° 162-2023-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca 29 de diciembre del 2023

VISTO: El expediente N° 2023-CU-17973, presentado por el señor (a) **JUAN MANUEL GOSME ALARCON** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO - N° 053-2023-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 053 - 2023 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 (la) estudiante: **JUAN MANUEL GOSME ALARCON** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO**, 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 **Mgtr. Arnaldo Yana Torres** 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° 053-2023 **aprobando** la propuesta de investigación titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO**.

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 mérito 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 o (la) Bachiller: **JUAN MANUEL GOSME ALARCON**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

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 **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**.

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 "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDR. MILTON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790UNIVERSIDAD "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS
DIRECTOR
Dr. Elraín Páez Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo 2023
Interesado (u)



JUAN MANUEL GOSME ALARCON

INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓ...

 Trabajos de tesis para ingreso a repositorio

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::13016:601140061

Fecha de entrega

18 jun 2026, 23:01 GMT-5

Fecha de descarga

19 jun 2026, 12:46 GMT-5

Nombre del archivo

T036_71941769_T.docx

Tamaño del archivo

25.7 MB

153 páginas

22.907 palabras

128.853 caracteres



TESIS UANCV

18% 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

- 14%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 13%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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

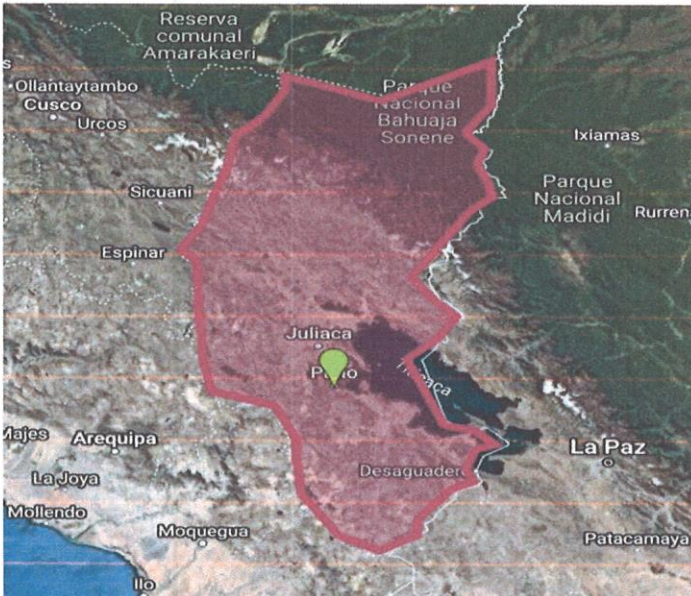


Metadatos Complementarios UANCV



Título de la tesis	
INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	JUAN MANUEL GOSME ALARCON
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71941769
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-6733-3295
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02442876
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8509-7224
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	01316765
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: Puno - Latitud: S 70° 01' 18'' - Longitud: O 15° 50' 15''  https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1Fj3XLmMb328zbd134F85lDaefzF8HQk&usp=sharing
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Diciembre 2023 – Setiembre 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS BÁSICAS

Dr. Fritz Wally Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo Juan Manuel Gosme Alarcon, identificado con DNI
Nro. 71941769, 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:

Influencia de la aplicación de la emulsión asfáltica y
cemento portland para la estabilización de bases granulares
en el departamento de puno

Asesorado por: Mgtr. Franz Joseph barahona perales

Es un tema original.

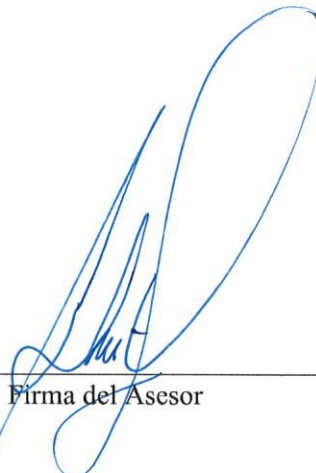
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, 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 tuyas 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 29 de Enero del 20 26


Firma del Asesor


Firma del Estudiante


Huella



DEDICATORIA

A mi abuelita Lucila Solaligue Estrada,

por ser el corazón que sembró en mí los valores del respeto, la humildad y la perseverancia, por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Eres mi mayor ejemplo de valentía y entrega. Tu ejemplo de vida, tu fortaleza y tu cariño incondicional han dejado una huella imborrable en mi camino. Siempre estarás presente en cada uno de mis logros.

A mi madre Elizabeth Alarcón Solaligue,

por tu amor sin medida, tu lucha incansable y tu fe constante en mí. Eres el pilar que me sostuvo en los momentos más difíciles y la luz que me guió cuando más lo necesité. Este triunfo es también tuyo, porque sin ti no hubiera sido posible.

Gracias por ser mi sostén, mi refugio y mi mayor motivación.



AGRADECIMIENTO

A mi familia,

por ser el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. Gracias por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento en los momentos difíciles y por acompañarme, desde la distancia o la cercanía, en este camino lleno de desafíos. Cada gesto de amor y confianza fue una fuente de energía para seguir adelante.

En especial, a mi tío Roberto Alarcón Solaligue,

por estar presente más allá de lo esperado, por brindarme siempre su apoyo con generosidad y sin condiciones. Gracias por creer en mí, por tus consejos sinceros y por ser una figura clave en mi desarrollo personal y académico. Tu respaldo ha sido una gran motivación para alcanzar esta meta.

A todos ustedes, gracias por ser parte esencial de este logro.



CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
CONTENIDO GENERAL	iii
CONTENIDO DE TABLAS.....	vii
CONTENIDO DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la problemática.....	14
1.2. Formulación del problema	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problemas específicos	16
1.3. Justificación de la investigación	17
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo general	18
1.4.2. Objetivos específicos	18
1.5. Hipótesis	18
1.5.1. Hipótesis general.....	18
1.5.2. Hipótesis específicas.....	19



1.6. Variables e indicadores	19
------------------------------------	----

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.....	22
2.1.1. internacionales	22
2.1.2. Nacionales.....	25
2.1.3. Locales	28
2.2. Marco teórico	30
2.2.1. Pavimentos.....	30
2.2.1.1. Tipos de Pavimento	30
2.2.1.2. Estructura de un Pavimento Asfáltico.....	32
2.2.2. Estabilización de Suelos	37
2.2.2.1. Fundamentos para la Estabilización.....	38
2.2.2.2. Criterios para la Selección de Estabilizadores de Suelo...	40
2.2.2.3. Métodos de Estabilización	48
2.2.2.4. Ventajas de la estabilización	52
2.2.3. Estabilización con cemento Portland	53
2.2.3.1. Definición de cemento Portland.....	53
2.2.3.2. Composición del cemento Portland.....	54
2.2.3.3. Definición del suelo-cemento	55
2.2.3.4. Componentes del suelo-cemento.....	55
2.2.3.5. Clasificación de materiales	58



2.2.3.6. Ensayos para el suelo estabilizado con cemento portland	61
2.2.4. Estabilización con emulsión asfáltica.....	62
2.2.4.1. Definición de la emulsión asfáltica	62
2.2.4.2. Composición de la emulsión asfáltica	63
2.2.4.3. Clasificación de la Emulsión Asfáltica	66
2.2.4.4. Procedimiento de fabricación de la emulsión asfáltica	69
2.2.4.5. Rotura de la emulsión asfáltica	71
2.2.4.6. Clasificación de materiales	72
2.2.4.7. Ensayos para el suelo estabilizado con emulsión asfáltica....	73
2.2.5. Ensayos Estándar	74
2.2.6. Ensayos Especiales	80
2.3. Marco conceptual	83

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.....	85
3.2. Nivel de investigación.....	85
3.3. Diseño de investigación.....	86
3.4. Población y muestra	86
3.4.1. Población.....	86
3.4.2. Muestra.....	86
3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	87
3.6. Procedimientos para la Recolección de Datos	87



3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	88
--	----

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Resultados	89
4.1.1. Análisis granulométrico	89
4.1.2. Desgaste de abrasión los ángeles	93
4.1.3. Límites de consistencia	95
4.1.4. Proctor modificado	97
4.1.5. Parámetros de CBR	99
4.1.6. Mezcla de cantera 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi	101
4.1.7. Resultados de Estabilización — Material Base: 60% Hormigón Isla + 40% Ligante Taparachi	107
4.1.8. Resultados con Emulsión Asfáltica (E.A.)	107
4.1.9. Resultados con Cemento Portland (C.P.)	110
4.2. Discusión	113
CONCLUSIONES	116
RECOMENDACIONES	119
BIBLIOGRAFÍA	121
ANEXOS	123



CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Guía para elegir el estabilizador adecuado.....	45
Tabla 2 Cómo elegir el estabilizador adecuado: una guía de referencia adicional	46
Tabla 3 Tipo de cemento necesario para la estabilización suelo-cemento	59
Tabla 4 Análisis del suelo y requisitos para la estabilización del suelo mediante cemento Portland	62
Tabla 5 Requisitos de las emulsiones asfálticas con componentes catiónicos	73
Tabla 6 Estabilización del suelo con emulsión asfáltica: ensayos y parámetros	74
Tabla 7 Resultados de desgaste de abrasión cantera Isla	93
Tabla 8 Resultados de desgaste de abrasión cantera Taparachi.....	94
Tabla 9 Comparación entre cantera Isla y Taparachi	95
Tabla 10 Límites de consistencia cantera Taparachi	95
Tabla 11 Cantera Taparachi Proctor modificado	98
Tabla 12 Resultados de los parámetros de CBR	99
Tabla 13 Descripción de la muestra 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi	102
Tabla 14 Clasificación del material 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi	102
Tabla 15 Límites de consistencia 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi	103
Tabla 16 Proctor modificado 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi	104



Tabla 17 C.B.R 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi.....	105
Tabla 18 Proctor Modificado — Mezcla base + Emulsión Asfáltica.....	108
Tabla 19 California Bearing Ratio (CBR) — Mezcla base + Emulsión Asfáltica	109
Tabla 20 Límites de Consistencia — Mezcla base + Emulsión Asfáltica	110
Tabla 21 Proctor Modificado — Mezcla base + Emulsión Asfáltica.....	111
Tabla 22 California Bearing Ratio (CBR) — Mezcla base + Cemento Portland	112
Tabla 23 Límites de Consistencia — Mezcla base + Cemento Portland.....	113



CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Sección transversal y estratigrafía de un pavimento.....	33
Figura 2 Proceso de estabilización de suelos en capas de pavimento	38
Figura 3 Propiedades fundamentales que intervienen en la estabilización de suelos	40
Figura 4 Proceso para la identificación del tipo del suelo	41
Figura 5 Proceso de selección del tipo de estabilización	44
Figura 6 Esquema de la emulsión asfáltica	63
Figura 7 Composición esquemática de la emulsión asfáltica y sus componentes.....	67
Figura 8 Preparación de una emulsión asfáltica para pulverización	70
Figura 9 Representación gráfica de la granulometría cantera Isla.....	89
Figura 10 Representación gráfica de la granulometría cantera Taparachi	91
Figura 11 Gráfico del límite líquido cantera Taparachi	96
Figura 12 Grafico de Proctor modificado	98
Figura 13 Grafica del C.B.R.....	100
Figura 14 Gráfico de la granulometría 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi	101
Figura 15 Gráfico de límites 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi	103
Figura 16 Grafico de Proctor modificado	104
Figura 17 Grafico del C.B.R.....	106



RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la influencia de la aplicación de la emulsión asfáltica y cemento portland para la estabilización de bases granulares en el departamento de Puno. La metodología empleada fue de tipo aplicada, nivel explicativo y diseño experimental; la muestra estuvo conformada por la mezcla granular de 60% Hormigón Cantera Isla + 40% Ligante Cantera Taparachi, sobre la cual se aplicaron dosificaciones del 2%, 4% y 6% de cada estabilizador de manera independiente, ejecutándose ensayos de Proctor Modificado, California Bearing Ratio (CBR) y Límites de Atterberg conforme a las normas ASTM y el Manual de Ensayos del MTC. Los resultados evidenciaron que el material base presenta una clasificación SUCS GP-GM / AASHTO A-1-a(0), con un índice de plasticidad de 2.19% y un CBR patrón al 95% de la MDS de 59.00%. La incorporación de emulsión asfáltica al 4% incrementó el CBR al 95% de la MDS a 74.80% (+26.8%), reduciendo el índice de plasticidad a 0.70%; mientras que el cemento Portland al 4% generó el mayor incremento de capacidad portante, alcanzando un CBR de 81.20% (+37.6%) y un índice de plasticidad de 0.35%, siendo la dosificación óptima para ambos estabilizadores. Se concluye que tanto la emulsión asfáltica como el cemento Portland mejoran significativamente las propiedades mecánicas de las bases granulares en Puno, siendo el cemento Portland al 4% el estabilizador de mayor efectividad estructural, y la emulsión asfáltica al 4% una alternativa técnicamente válida y económicamente competitiva para vías de bajo volumen de tránsito.

Palabras clave: Cemento Portland, emulsión asfáltica, estabilización, bases.



ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the influence of applying asphalt emulsion and Portland cement for the stabilization of granular subbases in the department of Puno. The methodology employed was applied, explanatory in nature, and based on an experimental design; the sample consisted of a granular mixture of 60% Isla Quarry Concrete + 40% Taparachi Quarry Binder, to which dosages of 2%, 4%, and 6% of each stabilizer were applied independently. Modified Proctor, California Bearing Ratio (CBR), and Atterberg Limit tests were conducted in accordance with ASTM standards and the MTC Test Manual. The results showed that the base material has a SUCS GP-GM / AASHTO A-1-a(0) grading, with a plasticity index of 2.19% and a standard CBR at 95% of the MDS of 59.00%. The addition of 4% asphalt emulsion increased the CBR at 95% of the MDS to 74.80% (+26.8%), reducing the plasticity index to 0.70%; while 4% Portland cement generated the greatest increase in bearing capacity, reaching a CBR of 81.20% (+37.6%) and a plasticity index of 0.35%, representing the optimal dosage for both stabilizers. It is concluded that both asphalt emulsion and Portland cement significantly improve the mechanical properties of granular bases in Puno, with 4% Portland cement being the stabilizer with the highest structural effectiveness, and 4% asphalt emulsion a technically valid and economically competitive alternative for low-traffic-volume roads.

Keywords: Portland cement, asphalt emulsion, stabilization, subgrades.



INTRODUCCIÓN

La presente investigación, denominada "Influencia de la Aplicación de Emulsión Asfáltica y Cemento Portland para la Estabilización de Bases Granulares en el Departamento de Puno", tiene como propósito evaluar de qué manera la incorporación de estos dos agentes estabilizadores incide en el comportamiento mecánico de las bases granulares, elemento fundamental dentro de la estructura de los pavimentos. Esta investigación surge ante la necesidad de fortalecer las condiciones estructurales de las vías en zonas sometidas a elevada carga vehicular y a condiciones geográficas y climáticas particulares, características propias del departamento de Puno.

La estabilización de suelos es un método científico habitual en ingeniería civil para aumentar la resistencia y la durabilidad de los materiales granulares, así como su capacidad de carga. El cemento Portland y la emulsión asfáltica destacan entre las alternativas a la hora de tratar diferentes tipos de suelo. Esto permite crear capas de base más finas y prolongar considerablemente la vida útil de los pavimentos, lo que resulta muy beneficioso tanto para el medio ambiente como para la economía.

El desarrollo de esta investigación contempla un análisis comparativo del comportamiento mecánico de las bases granulares tratadas con distintas proporciones de cemento portland y emulsión asfáltica. A través de un enfoque experimental sistemático, se busca identificar las combinaciones óptimas que maximicen la capacidad de soporte expresada mediante el índice CBR, verificando a su vez el cumplimiento de los requisitos establecidos en las normativas técnicas vigentes.



El motivo principal de esta investigación es abordar los problemas que actualmente afectan a las infraestructuras viarias en lo que respecta a los pavimentos, con la esperanza de aportar soluciones tecnológicas y ampliar nuestro conocimiento sobre los agentes estabilizadores en las bases granulares. Para alcanzar este objetivo, el estudio se ha basado en información contrastada sobre las características del material de cantera, junto con datos de ensayos de laboratorio e investigaciones previas sobre el mismo tema.

Esta investigación propone dos soluciones de estabilización para una base granular, ambas destinadas a superar las propiedades inherentes del material; el estudio se basa en datos experimentales que ayudan a ilustrar y aclarar el alcance de cada enfoque. El problema actual es consecuencia directa de la falta de inversión en la infraestructura vial que sufre el país desde hace tiempo, lo que constituye un problema grave y persistente que pone de manifiesto la escasez de materiales didácticos y datos técnicos sobre cómo estabilizar las bases granulares para pavimentos.

En respuesta a ello, esta investigación sugiere comparar métodos para el diseño de pavimentos sin asfalto, estabilizar las bases granulares para mejorar su comportamiento estructural y evaluar los procedimientos asociados desde un punto de vista económico. El objetivo es aportar un gran beneficio a los investigadores y expertos en estabilización, proporcionándoles conocimientos que puedan utilizar para crear soluciones tecnológicas innovadoras.

El estudio comparativo presentado se ha basado en un uso preciso de las metodologías de diseño estructural, ensayos de laboratorio bien ejecutados y cálculos exhaustivos, lo que garantiza su validez y fiabilidad.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la problemática

A escala internacional, la incorporación de emulsiones asfálticas y cemento portland como agentes estabilizadores de suelos ha sido reconocida como una técnica eficaz para optimizar las propiedades mecánicas de las estructuras viales. No obstante, su adopción generalizada ha encontrado limitaciones en diversos contextos, principalmente asociadas al incremento en los costos de los materiales y a la ausencia de procedimientos estandarizados. Un caso ilustrativo es el de España, donde, a pesar de contar con una sólida documentación técnica sobre la estabilización de suelos mediante productos bituminosos, su aplicación ha experimentado un retroceso progresivo, atribuible en gran medida al encarecimiento de los insumos energéticos y a una transición hacia el empleo de emulsiones en su función de ligantes.



En el ámbito nacional, el tratamiento de suelos en proyectos viales presenta una problemática recurrente, caracterizada por la imprecisión conceptual en su definición y por la complejidad y los elevados costos que conllevan sus procesos de ejecución. Esta situación se manifiesta con especial intensidad en regiones como Huancayo, donde la infraestructura vial registra fallas frecuentes derivadas de un manejo deficiente del terreno y de una inversión insuficiente en labores de mantenimiento. Factores como la presencia de subrasantes blandas con elevado contenido de humedad y material fino comprometen de manera significativa la capacidad portante del suelo, deteriorando con ello la funcionalidad y vida útil de las vías.

En el departamento de Puno, esta problemática adquiere particular relevancia, dado que las bases granulares de las carreteras de la región presentan condiciones análogas de deficiencia en resistencia y durabilidad. Las falencias en la estabilización de dichas bases se traducen en elevados costos de mantenimiento, reducción del periodo de servicio de los pavimentos y restricciones en la movilidad de los usuarios, con repercusiones directas sobre el desarrollo socioeconómico de las comunidades aledañas.

En este escenario, se identifica la necesidad imperativa de investigar la influencia de la aplicación de emulsión asfáltica y cemento portland en la estabilización de bases granulares, con el propósito de incrementar la capacidad portante y extender la vida útil de las vías en el departamento de Puno. Asimismo, se pretende formular soluciones técnicas viables que optimicen el empleo de estos estabilizadores, contribuyendo al desarrollo de una

infraestructura vial más accesible, duradera y sostenible para las comunidades locales.

Esta problemática configura un desafío de naturaleza tanto técnica como social, que justifica plenamente el desarrollo de la presente investigación y su aporte al diseño y gestión eficiente de vías en territorios con condiciones geográficas y climáticas adversas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera influye la aplicación de emulsión asfáltica y cemento portland en la estabilización de bases granulares en el departamento de Puno?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del material extraído en cantera, determinadas mediante ensayos de laboratorio, que lo caracterizan como base granular para su posterior estabilización?
- ¿Qué propiedades mecánicas adquiere la base granular al ser tratada con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica, según los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio ejecutados?
- ¿Qué propiedades mecánicas desarrolla la base granular al ser estabilizada con distintos porcentajes de cemento portland, de acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio ejecutados?



1.3. Justificación de la investigación

Utilizamos cemento Portland y emulsión asfáltica como agentes estabilizadores de la capa base granular de un pavimento para comprobar en qué medida podíamos mejorar sus propiedades mecánicas. A pesar de que estos materiales se han utilizado en Perú con el objetivo de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, existe una falta de conocimientos técnicos y experiencia en este ámbito. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es proporcionar una referencia técnica para futuros trabajos que se centren en la mejora y estabilización de bases granulares mediante el uso de emulsión asfáltica y cemento Portland.

Desde una perspectiva social, esta investigación representa un aporte relevante en la búsqueda de alternativas técnicas más accesibles y económicamente viables para el mejoramiento de la infraestructura vial, a través de procesos de estabilización que contribuyan al desarrollo de las comunidades beneficiadas. En este sentido, el estudio no solo responde a una necesidad técnica, sino también a una demanda social concreta relacionada con la calidad y sostenibilidad de las vías.

A lo largo de la historia, las técnicas orientadas al mejoramiento de las propiedades de los suelos han experimentado una evolución continua, transitando desde los métodos más rudimentarios hasta las soluciones más sofisticadas que ofrece la ingeniería contemporánea. Gracias al avance tecnológico, hoy es posible incorporar nuevas metodologías de estabilización de suelos mediante el uso de productos asfálticos, ampliando las posibilidades

técnicas disponibles para el diseño y construcción de pavimentos de mayor calidad y durabilidad.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar la influencia de la aplicación de la emulsión asfáltica y cemento portland para la estabilización de bases granulares en el departamento de Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades del material extraído en cantera a través de ensayos de laboratorio.
- Determinar las propiedades mecánicas que adquiere la base granular al ser tratada con emulsión asfáltica, a partir de los ensayos de laboratorio ejecutados.
- Determinar las propiedades mecánicas de la base granular tratada con cemento portland, a partir de los ensayos de laboratorio ejecutados.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La aplicación de emulsión asfáltica y cemento portland influye de manera significativa y positiva en la estabilización de bases granulares en el departamento de Puno, mejorando su capacidad de soporte y comportamiento mecánico respecto a las condiciones naturales del material.

1.5.2. Hipótesis específicas

- El material extraído en cantera presenta propiedades físicas y mecánicas que, evaluadas mediante ensayos de laboratorio, permiten establecer su aptitud como base granular y definir los parámetros necesarios para su proceso de estabilización.
- La incorporación de emulsión asfáltica en distintos porcentajes mejora significativamente las propiedades mecánicas de la base granular, incrementando su capacidad de soporte y resistencia en comparación con el material en estado natural, según los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados.
- La adición de cemento portland en diferentes proporciones produce una mejora considerable en las propiedades mecánicas de la base granular, elevando su capacidad portante y durabilidad estructural respecto al material sin tratamiento, conforme a los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados.

1.6. Variables e indicadores

Variable independiente: Aplicación de Emulsión Asfáltica y Cemento Portland.

Definición conceptual: Constituye la incorporación controlada de emulsión asfáltica y cemento portland como agentes estabilizadores al material granular, en distintas proporciones, con el propósito de modificar y mejorar sus propiedades intrínsecas.

Definición operacional: Se medirá a través de los porcentajes de emulsión asfáltica y cemento portland añadidos a la base granular durante los ensayos de laboratorio, variando las dosificaciones de manera sistemática y controlada.

Dimensión:

- Dosificación

Indicador:

- %

Variable dependiente: Estabilización de bases granulares

Definición conceptual: Representa el proceso mediante el cual las propiedades físicas y mecánicas de las bases granulares son modificadas favorablemente mediante la incorporación de agentes estabilizadores, incrementando su resistencia, capacidad de soporte y durabilidad estructural.

Definición operacional: Se medirá a través de los resultados de los ensayos de laboratorio, principalmente el CBR, el Proctor modificado, los límites de Atterberg, la granulometría y el ensayo de abrasión Los Ángeles, comparando los valores obtenidos antes y después de la aplicación de los estabilizadores.

Dimensión:

- Propiedades físicas y mecánicas.

Indicador:

- Granulometría.



- Límites de Atterberg (LL, LP, IP).
- Clasificación del suelo (SUCS/AASHTO).
- Valor de soporte California (CBR).
- Máxima densidad seca (Proctor modificado).
- Óptimo contenido de humedad.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. internacionales

Comparación entre la estabilización del suelo con emulsión asfáltica y la estabilización del suelo con asfalto y gasóleo para determinar qué método de estabilización proporciona una mayor densidad aparente y un mayor índice de soporte CBR. fue el título del estudio de investigación de Quiroz (2017), en el que se compararon dos métodos de estabilización del suelo. El objetivo general del estudio era determinar qué método ofrecía mejores resultados en términos de densidad aparente y valor de soporte CBR. Los resultados mostraron que se obtuvo una densidad de 2484 g/cm^3 al tratar el suelo con asfalto y emulsión asfáltica caliente, lo que permitió determinar valores CBR aceptables. Los valores de soporte obtenidos mostraron una diferencia significativa entre las dos opciones; se registró un CBR de 60 con una dosis de estabilizador del 9 %,



mientras que se obtuvo un CBR de 50 con una mezcla de un 3 % de asfalto y un 6 % de gasóleo. El estudio de costes demostró que la estabilización mediante emulsión asfáltica es la opción más económica, por lo que cualquier proyecto que considere el uso de este material como agente estabilizador podrá maximizar los recursos invertidos.

Burbano y Zuluaga (2011), en su investigación presentada para optar el título profesional, denominada "Influencia de la granulometría y la dosificación en el fresado estabilizado con emulsión asfáltica", centraron su estudio en evaluar las variaciones en la respuesta mecánica del material de fresado tratado con emulsión asfáltica, analizando el efecto que ejercen tanto las curvas granulométricas como los contenidos de ligante sobre dicho comportamiento. Entre las conclusiones más relevantes, los autores determinaron que la incorporación de emulsión asfáltica a un material que previamente contiene asfalto incrementa de forma considerable el porcentaje de este componente en la mezcla resultante. Asimismo, se estableció que las condiciones térmicas ejercen una influencia determinante en el desempeño de las probetas evaluadas, constituyéndose como un factor crítico dentro del análisis experimental realizado.

Por su parte, Rosero (2013), en su tesis titulada "Bases estabilizadas con emulsión asfáltica para pavimentos (aplicación calle Nogales, Parroquia Nayón L= 1 km)", presentada ante la Universidad Central del Ecuador, planteó como objetivo principal la optimización de las propiedades mecánicas de materiales granulares de baja calidad provenientes de canteras cercanas a la ciudad de Quito, mediante su tratamiento con emulsión asfáltica para su posterior aplicación en capas base de pavimentos. El autor concluyó que las bases



estabilizadas con emulsión asfáltica representan una alternativa técnicamente viable tanto para la construcción de nuevos pavimentos como para procesos de repavimentación. Entre las ventajas identificadas, destacan la reducción de costos en comparación con otras técnicas de estabilización y mezclas asfálticas en caliente, la rapidez en su implementación, la menor afectación al tránsito vehicular durante su ejecución y la disminución del impacto ambiental generado, contribuyendo así a la mitigación de sus efectos sobre el entorno.

Sánchez (2014), en su trabajo de investigación denominado "Estabilización de suelos expansivos con cal y con cemento en el sector Calcical del cantón Tosagua, provincia de Manabí", abordó la estabilización de suelos orientada al diseño de pavimentos, empleando cemento como agente estabilizador en proporciones del 7% y 9%. Los resultados evidenciaron una reducción considerable en el índice de plasticidad del material tratado, registrándose disminuciones del 11.5% y 36% para cada porcentaje de cemento utilizado respectivamente, lo que demostró la eficacia de este estabilizador en la modificación de las propiedades plásticas del suelo.

Divas (2018), en su tesis titulada "Estabilización de suelos con emulsión asfáltica para el empleo en subbases y bases", realizó una evaluación exhaustiva de las propiedades mecánicas de los suelos tratados con emulsión asfáltica. Los resultados obtenidos indicaron que dichas propiedades mejoraron progresivamente conforme se reducía la plasticidad de los materiales y se incorporaba el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica. En particular, se registró un incremento en la resistencia a la compresión no confinada y en la compresibilidad Marshall; sin embargo, en el caso de los suelos finos, el valor



CBR no presentó mejoras significativas, atribuidas a la insuficiente fricción entre las partículas del material. A partir de estos hallazgos, el autor concluyó que para la estabilización de suelos finos con baja plasticidad resulta recomendable la aplicación del método de Duriez, mediante el cual, partiendo de la granulometría del material, es posible determinar el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica a incorporar, tomando como base los datos obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión indirecta Marshall.

2.1.2. Nacionales

Aplicación de emulsión asfáltica para estabilizar el pavimento de la carretera Bagua Grande-Buena Vista, región de Amazonas, 2017, reza el título de la tesis de grado de Suxe (2018), cuyo objetivo era evaluar el comportamiento del pavimento tras la aplicación de la emulsión asfáltica. Tras verificar las propiedades de los materiales, el autor concluyó que una gradación de áridos compuesta por un 61 % de grava, un 28,3 % de arena y un 10,2 % de arcilla y limo, con un índice de plasticidad del 6,61 % y una clasificación AASHTO de A-1-b, sería la más adecuada para su uso con emulsión asfáltica. Del mismo modo, se observó que los suelos de grano fino tienden a absorber más emulsión, lo que dificulta considerablemente la determinación de la dosis de aplicación adecuada debido a su alto nivel de saturación. El proveedor, TDM, aportó las certificaciones de calidad que acreditaban la conformidad técnica de la emulsión de ruptura lenta requerida; los resultados mostraron que cumplía con las especificaciones establecidas en las directrices EG-2013. El autor determinó que un porcentaje de emulsión del 5 % era el más adecuado para el tipo de pavimento de la carretera tras comprobar que tanto el pavimento existente como la emulsión

asfáltica cumplían los requisitos mínimos de la norma EG-2013; sin embargo, dosis más altas (de hasta un 7 %) también arrojaban resultados satisfactorios. La adición de un 5 % de emulsión asfáltica aumentó el valor CBR del 37,79 % en condiciones naturales de cantera al 87,2 %, lo que demuestra una mejora muy significativa en la capacidad portante. Esto indica que este método de estabilización tiene un alto potencial para mejorar el rendimiento estructural del material tratado.

Castillo (2018), en su investigación, El objetivo principal era determinar cómo afectaban los aditivos químicos a la estabilización de suelos cohesivos destinados a la mejora de la subbase. Este objetivo se logró mediante la realización de una serie de ensayos destinados a definir las características mecánicas, físicas y químicas del suelo en cuestión. Entre los hallazgos más importantes, el autor dedujo que, al combinar el aditivo PROES con cemento Portland en una dosis de 0,27 L/m³, las propiedades mecánicas del suelo mejoran considerablemente, lo que da lugar a un aumento de la capacidad portante de hasta un 100 % en comparación con el estado natural del material sin tratar. A partir de estos hallazgos, se estableció que la combinación del aditivo químico PROES con cemento portland constituye una alternativa eficaz para elevar la capacidad portante de suelos cohesivos, garantizando resultados favorables en los procesos de estabilización y asegurando un comportamiento estructural adecuado para el funcionamiento óptimo de un pavimento. Los aportes de esta investigación resultan de particular relevancia para el presente estudio, en tanto proporcionan referencias sobre dosificaciones óptimas que



pueden ser consideradas como punto de partida para el desarrollo experimental del proyecto de investigación en curso.

Ramos y Torres (2012) desarrollaron una investigación orientada al mejoramiento del material de afirmado proveniente de las canteras adyacentes al terraplén de la carretera Lircay – Ccochaccasa, ubicada en la provincia de Angaraes, región Huancavelica, mediante la incorporación de cemento portland como agente estabilizador. En el marco de dicho estudio, se empleó una dosificación del 1% de cemento portland, cuyos resultados evidenciaron mejoras moderadas en las propiedades mecánicas del material tratado. Específicamente, se registró un incremento en la densidad seca del material, que pasó de 2.16 gr/cm³ a 2.22 gr/cm³, así como una ligera mejora en el índice de capacidad de soporte CBR, el cual aumentó de 48% a 48.5%. Si bien los incrementos obtenidos no fueron de gran magnitud, los resultados sugieren que dosificaciones superiores de cemento portland podrían generar mejoras más significativas en las propiedades del material, constituyendo esta investigación un punto de referencia técnica para estudios que busquen optimizar las condiciones de afirmados mediante procesos de estabilización con dicho agente.

Ayala y Gallardo (2015), en su tesis denominada "Estabilización de la base de un pavimento rígido con cemento portland tipo I utilizando las canteras El Gavilán, Don Lucho y El Río Chonta", llevaron a cabo una investigación orientada a evaluar el efecto de la incorporación de cemento portland tipo I sobre la capacidad de soporte de la base de un pavimento rígido. Los resultados mostraron que la capacidad portante de la base aumenta gradualmente con la adición de cemento Portland de tipo I en proporciones que oscilan entre el 2 % y

el 8 %. El incremento de esta capacidad oscila entre el 7 % y el 67 %, dependiendo de la cantidad de estabilizador utilizada. Estos resultados llevaron a los autores a la siguiente conclusión: la capacidad portante del material tratado es proporcional a la dosis de cemento Portland. En otras palabras, el aumento del porcentaje de cemento en el material tratado conduce a mejores propiedades mecánicas de la base granular. Para el presente estudio, estos resultados constituyen una referencia técnica inestimable, ya que demuestran, mediante la experimentación, cómo se comportan las bases granulares estabilizadas con cemento Portland y en qué rangos de dosificación se mejora significativamente su capacidad portante.

2.1.3. Locales

De la Torre (2018), Evaluación de diseños de pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento Portland para el proyecto de mantenimiento de la carretera Puno-Tacna: tramo Tarata Capazo-Mazocruz, fue el título de su trabajo de fin de carrera, en el que comparó los aspectos técnicos y económicos de diferentes opciones de diseño para el proyecto vial en cuestión. Según las evaluaciones técnicas y económicas del análisis, el plan de diseño que incorpora emulsión asfáltica para la estabilización del suelo destaca como la mejor opción. Las decisiones tomadas durante el proceso de diseño deben tener en cuenta el aumento sustancial de los costes del proyecto asociados al uso de emulsiones asfálticas, aunque estas mejoren las cualidades del suelo tratado en comparación con otras opciones. Además, se constató que las propiedades mecánicas y físicas del suelo no se ven afectadas por dosificaciones inferiores al 1 % de cemento Portland o emulsión asfáltica. Esto sugiere que existe una

dosificación mínima por debajo de la cual los agentes estabilizadores no influyen significativamente en el comportamiento del material tratado. Los aportes de esta investigación resultan especialmente pertinentes para el presente estudio, dado que fue desarrollada en el mismo ámbito geográfico del departamento de Puno, proporcionando referencias técnicas directamente aplicables al contexto de la investigación en curso

Salas (2017), en su tesis denominada El estudio titulado «Estabilización del suelo mediante cemento y el aditivo Terrasil para mejorar la subbase desde el km 11+000 hasta el km 9+000 de la carretera Puno - Tiquillaca - Mañazo», analizó el impacto de la adición de cemento Portland en las propiedades mecánicas del suelo extraído de la cantera «Lumpoorcco», un material considerado de calidad regular según las normas establecidas por el Manual de Carreteras del MTC. Los resultados mostraron que las características mecánicas del material tratado mejoran significativamente con la adición de un 4 % de cemento Portland. El índice de plasticidad, la densidad en seco y el valor de la capacidad de carga CBR del material tratado mostraron modificaciones favorables. Estos hallazgos resultan de especial relevancia para la presente investigación, dado que fueron obtenidos en el mismo contexto geográfico del departamento de Puno, lo que otorga una mayor aplicabilidad y pertinencia a sus conclusiones como referente técnico para el estudio en curso.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Pavimentos

Un pavimento es una estructura artificial de varias capas que se construye sobre la subbase o el terreno natural. Su finalidad es distribuir uniformemente las tensiones mecánicas provocadas por las condiciones meteorológicas y las cargas del tráfico a lo largo de las capas subyacentes de la estructura, evitando así deformaciones o daños que pudieran comprometer su integridad estructural.

2.2.1.1. Tipos de Pavimento

A. Pavimentos Rígidos

Los pavimentos rígidos se caracterizan por estar conformados por una losa de concreto hidráulico como elemento estructural principal, la cual posee la capacidad de absorber y resistir la mayor parte de los esfuerzos generados por las cargas vehiculares, transmitiendo únicamente una fracción mínima de dichos esfuerzos hacia la capa de apoyo inferior, que puede estar constituida por una base granular o una base tratada con cemento o cal. Debido a su elevada rigidez, este tipo de pavimento distribuye las cargas sobre áreas considerablemente amplias, reduciendo significativamente las tensiones transferidas al terreno subyacente.

De acuerdo con el Manual de Carreteras del MTC (2014), los pavimentos rígidos se clasifican en tres categorías:

Pavimentos de concreto simple con juntas: No incorporan acero de refuerzo en su composición y su comportamiento estructural depende exclusivamente de las propiedades del concreto hidráulico.

Pavimentos de concreto reforzado con juntas: Incorporan acero de refuerzo distribuido en la losa, lo que permite controlar la fisuración y mejorar el comportamiento estructural del pavimento.

Pavimentos de concreto continuamente reforzados: Presentan una disposición continua de acero de refuerzo a lo largo de toda la losa, eliminando la necesidad de juntas transversales de contracción.

Cabe destacar que los pavimentos de concreto con juntas representan la alternativa más adecuada para la realidad nacional, en virtud de su desempeño estructural comprobado y su compatibilidad con los períodos de diseño habitualmente empleados en los proyectos viales del país.

A. Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles están conformados por un sistema de capas superpuestas que trabajan en conjunto para transmitir y distribuir progresivamente las cargas vehiculares hasta el terreno natural, sin que se produzcan deformaciones que comprometan la funcionalidad de la vía. Su estructura típica comprende tres capas fundamentales: la subbase, la base granular y la carpeta de rodadura asfáltica. No obstante, dependiendo de factores como la magnitud de las cargas vehiculares, las características del suelo de fundación y las condiciones climáticas de la zona, es posible prescindir de alguna de estas capas sin afectar el comportamiento global de la estructura del pavimento. A diferencia de los pavimentos rígidos, los pavimentos flexibles distribuyen las cargas de manera gradual a través de sus capas, de modo que cada una de ellas recibe y transfiere los esfuerzos hacia la capa inmediatamente

inferior en menor intensidad, hasta llegar al terreno natural con niveles de tensión admisibles.

B. Pavimentos Semirrígidos

Los pavimentos semirrígidos constituyen una tipología estructural intermedia que integra características propias tanto de los pavimentos rígidos como de los flexibles. Su estructura está compuesta por una capa de rodadura asfáltica en la parte superior y capas de base tratadas con agentes estabilizadores en la parte inferior, tales como asfalto, cemento portland, cal u otros aditivos de similar naturaleza. Esta disposición estructural, en la que las capas de mayor rigidez se ubican en la zona inferior y las capas de comportamiento flexible en la zona superior, otorga a este tipo de pavimento una respuesta estructural equilibrada ante las solicitudes del tráfico y las condiciones del entorno. Según el MTC (2014), esta combinación de materiales permite aprovechar las ventajas de ambos tipos de pavimento, optimizando el comportamiento estructural del conjunto y prolongando su vida útil.

2.2.1.2. Estructura de un Pavimento Asfáltico

La estructura de un pavimento asfáltico está concebida y diseñada con el propósito fundamental de resistir y distribuir adecuadamente las solicitudes mecánicas generadas por las cargas del tráfico vehicular hacia el terreno de fundación. Este tipo de pavimento se caracteriza por estar constituido por una carpeta asfáltica como capa superficial de rodadura, la cual se apoya sobre un sistema de capas no rígidas conformado, en su configuración típica, por una base granular y una subbase granular dispuestas de manera descendente.

No obstante, la configuración estructural del pavimento asfáltico puede variar en función de las condiciones particulares de cada proyecto, tales como el volumen y tipo de tráfico esperado, las características del suelo de fundación y las condiciones climáticas de la zona, siendo posible prescindir de alguna de las capas granulares cuando las circunstancias técnicas así lo justifiquen.

La disposición estructural típica de un pavimento asfáltico, con sus respectivas capas ordenadas de manera jerárquica desde la superficie hasta el terreno natural, se ilustra en la figura siguiente.

Figura 1

Sección transversal y estratigrafía de un pavimento.



Nota: Instituto de la Construcción IGC.

a) Subbase Granular

La subbase granular constituye una de las capas estructurales del pavimento y cumple un conjunto de funciones técnicas de gran relevancia para el adecuado comportamiento del sistema vial en su totalidad. Su función principal

consiste en recibir, transmitir y distribuir de manera uniforme las cargas provenientes de la superficie de rodadura hacia la subrasante, garantizando que los esfuerzos sean transferidos en niveles admisibles para el terreno de fundación.

Adicionalmente, esta capa desempeña un papel fundamental en la protección de la estructura del pavimento frente a las variaciones que pueden afectar al suelo subyacente, actuando como elemento regulador de los cambios de elasticidad y volumétricos que, de no ser controlados, podrían ocasionar daños considerables en las capas superiores del pavimento.

Otra función de igual importancia es su capacidad para actuar como capa de drenaje, facilitando la evacuación del agua infiltrada y controlando el fenómeno de ascensión capilar, el cual representa una de las principales causas de deterioro prematuro de las estructuras viales. Para el cumplimiento eficiente de todas estas funciones, la subbase granular se construye habitualmente con materiales granulares seleccionados que reúnen las características físicas y mecánicas requeridas por las normativas técnicas vigentes.

b) Base

La Base constituye una de las capas fundamentales dentro de la estructura del pavimento. Se encuentra posicionada entre la Subbase y la carpeta de rodadura, y cumple dos funciones esenciales: distribuir y transmitir las cargas originadas por el tráfico vehicular hacia las capas subyacentes del pavimento, es decir, hacia la Subbase y, a través de ella, hasta la subrasante.

Asimismo, actúa como el elemento de soporte directo sobre el cual se apoya la capa de rodadura.

De acuerdo con sus características constructivas y de composición, la Base puede clasificarse en distintos tipos:

I. Base Granular

Como componente fundamental de la estructura del pavimento, esta capa se sitúa entre la subbase y la capa de rodadura. Mezclada con materiales de relleno como arena y tierra orgánica, está compuesta por roca triturada y grava de primera calidad.

Para que esta capa funcione correctamente dentro de la estructura, sus materiales deben ser adecuadamente seleccionados y clasificados. El comportamiento estable de la base granular depende directamente de una serie de propiedades interrelacionadas:

- La graduación de las partículas consideradas en el diseño.
- La forma y densidad relativa de los agregados.
- La fricción interna y cohesión del material.
- El balance entre la proporción de finos y agregado grueso, que condiciona todas las propiedades anteriores.

II. Base Estabilizada

Esta capa ocupa la misma posición estructural que la base granular entre la Subbase y la capa de rodadura, y comparte una composición similar basada en piedra triturada, grava, arena y suelo. Sin embargo, su característica distintiva

es que dicha mezcla se combina con agentes estabilizadores y se ejecuta mediante técnicas constructivas especializadas de estabilización.

Este tratamiento tiene como propósito elevar la resistencia y estabilidad del material, optimizando su capacidad para distribuir y transferir eficientemente las cargas del tránsito hacia la capa de Subbase, con un desempeño estructural superior al de una base convencional (Arenas, R., 2019).

c) Carpeta de Rodadura

La carpeta de rodadura representa la capa superior de la estructura del pavimento, dispuesta directamente sobre la base. Por su posición en el sistema estructural, constituye el elemento que entra en contacto directo con el tráfico vehicular y con los agentes climáticos del entorno.

I. Funciones Principales

Su función primordial es proteger la integridad estructural del pavimento mediante la impermeabilización de la superficie. Este proceso impide el ingreso de agua por filtración hacia las capas inferiores, previniendo su saturación y el consecuente deterioro prematuro del sistema.

Adicionalmente, la carpeta de rodadura contribuye al incremento de la capacidad portante del pavimento, dado que absorbe y distribuye las cargas impuestas por el tránsito. Este aporte estructural resulta significativo cuando el espesor de la capa supera los 4 centímetros; en contraste, para el caso de riegos superficiales, dicho incremento en la capacidad soporte se considera despreciable o nulo.

2.2.2. Estabilización de Suelos

De acuerdo con el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC, la estabilización de suelos se concibe como el proceso mediante el cual se mejoran las propiedades físicas de un suelo, ya sea a través de procedimientos mecánicos o mediante la incorporación de productos químicos de origen natural o sintético. Este proceso tiene como finalidad primordial dotar al suelo de una mayor resistencia mecánica y garantizar su estabilidad y permanencia a lo largo del tiempo.

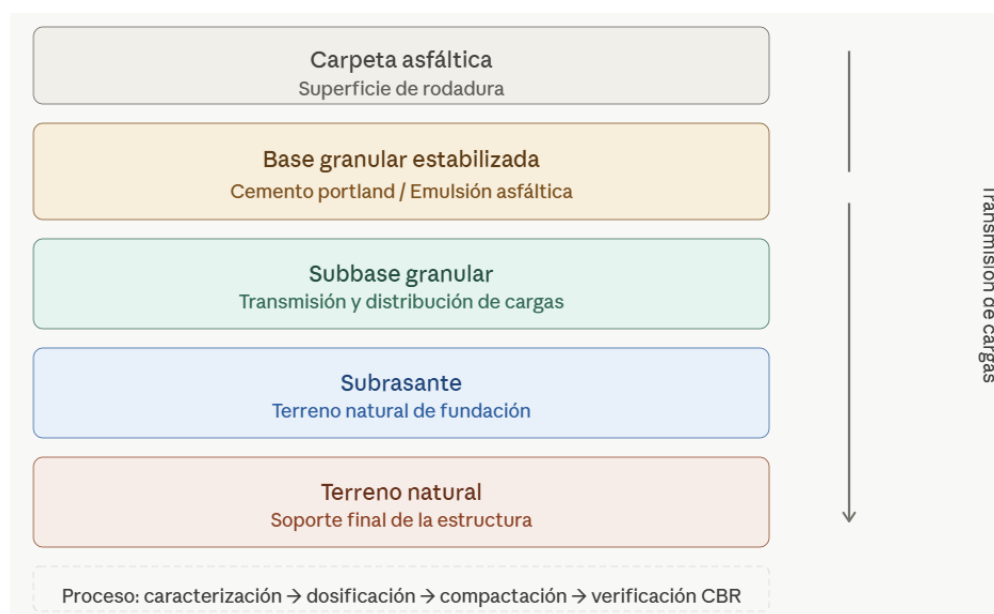
Los agentes estabilizadores empleados en este proceso encuentran su principal campo de aplicación en suelos de subrasante de calidad inadecuada o deficiente, dando lugar a denominaciones técnicas específicas según el tipo de estabilizador utilizado, tales como suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto, entre otros. Por otro lado, cuando el proceso de estabilización se aplica sobre una subbase granular o base granular con el propósito de obtener un material de mayor calidad estructural, el resultado se denomina subbase o base granular tratada, especificándose el agente estabilizador empleado, ya sea cemento, cal, asfalto u otro producto de similar naturaleza.

Las técnicas de estabilización disponibles son diversas y abarcan desde la adición de otro tipo de suelo hasta la incorporación de uno o más agentes estabilizantes en combinación. Independientemente del mecanismo de estabilización seleccionado, este proceso va siempre acompañado de una etapa de compactación, la cual resulta indispensable para asegurar la densificación adecuada del material tratado y el logro de las propiedades mecánicas deseadas. De este modo, cuando una base granular no presenta las condiciones

óptimas requeridas para su funcionamiento estructural, se procede a estabilizar dicha capa con el fin de transformarla en un material de calidad superior que cumpla con los estándares técnicos establecidos por la normativa vigente.

Figura 2

Proceso de estabilización de suelos en capas de pavimento



2.2.2.1. Fundamentos para la Estabilización

De acuerdo con el MTC (2018), las carreteras de Tercera Clase se definen como aquellas que registran un Índice Medio Diario Anual (IMDA) inferior a 400 vehículos por día, con una calzada de dos carriles cuyo ancho mínimo es de 3,00 m, admitiéndose excepcionalmente anchos de hasta 2,50 m. Para este tipo de vías, la normativa contempla la posibilidad de implementar soluciones denominadas básicas o económicas, entre las que se encuentran la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micropavimentos, así como el uso de afirmado como superficie de rodadura.

Desde el punto de vista técnico, la estabilización de suelos se fundamenta en la modificación y mejora de las propiedades intrínsecas del material, con el propósito de incrementar su desempeño estructural dentro de la vía. Las propiedades más relevantes que se busca optimizar mediante cualquier proceso de estabilización son las siguientes:

- Estabilidad volumétrica: Capacidad del suelo para mantener su volumen constante ante variaciones de humedad y temperatura, evitando expansiones o contracciones que puedan comprometer la integridad del pavimento.
- Resistencia mecánica: Aptitud del material para soportar las cargas vehiculares sin experimentar deformaciones permanentes que afecten la funcionalidad de la vía.
- Permeabilidad: Control del flujo de agua a través del suelo, con el fin de evitar la acumulación de humedad en las capas estructurales del pavimento.
- Compresibilidad: Reducción de los asentamientos diferenciales que pueden generarse bajo la acción de cargas estáticas o dinámicas aplicadas sobre la estructura vial.
- Durabilidad: Capacidad del suelo tratado para mantener sus propiedades mejoradas a lo largo del tiempo, resistiendo la degradación por efectos climáticos y de tráfico.

La selección de un agente estabilizador adecuado implica verificar, mediante ensayos de laboratorio, que el producto elegido produzca mejoras

comprobables en una o más de estas propiedades, garantizando así la efectividad técnica y la sostenibilidad económica de la solución adoptada.

Figura 3

Propiedades fundamentales que intervienen en la estabilización de suelos



2.2.2.2. Criterios para la Selección de Estabilizadores de Suelo

La elección del agente estabilizador más adecuado está estrechamente vinculada a las características del material granular que se empleará en la construcción de la base, independientemente de si dicho material será utilizado con o sin tratamiento estabilizador. Este material puede tener diversas procedencias, entre las que se encuentran los productos obtenidos de excavaciones, la explotación de canteras, el aprovechamiento de escorias metálicas, la trituración de rocas o gravas, así como mezclas de materiales provenientes de distintas fuentes de origen.

En función de la naturaleza y características del material disponible, se determinan las acciones técnicas a seguir, tomando como base un conjunto de criterios geotécnicos que permiten identificar y clasificar el tipo de suelo con el que se trabajará. Esta clasificación resulta fundamental para orientar de manera objetiva la selección del estabilizador más compatible con las propiedades del material, garantizando así la eficacia del tratamiento y el cumplimiento de los requisitos técnicos exigidos para la capa base del pavimento.

Los criterios geotécnicos empleados para la identificación del tipo de suelo y la consiguiente selección del estabilizador se ilustran en la Figura 4, la cual sintetiza de manera esquemática el proceso de toma de decisiones en función de las propiedades del material granular analizado.

Figura 4

Proceso para la identificación del tipo de suelo



Nota: MTC (2018)

Complementariamente a los criterios geotécnicos descritos, la selección del método de estabilización más apropiado requiere la consideración de un



conjunto de factores adicionales que condicionan tanto la viabilidad técnica como la factibilidad económica de la solución adoptada. Estos factores son los siguientes:

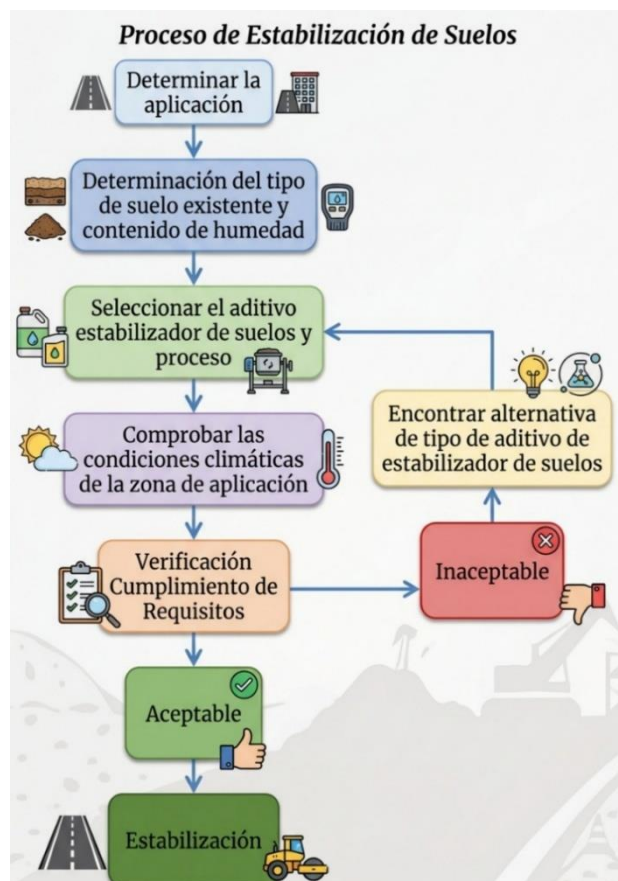
- Tipo de suelo a estabilizar: Las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo determinan en gran medida la compatibilidad con los distintos agentes estabilizadores disponibles, siendo imprescindible su caracterización previa mediante ensayos de laboratorio.
- Uso propuesto del suelo estabilizado: La función que cumplirá el material tratado dentro de la estructura del pavimento, ya sea como subbase, base granular o subrasante mejorada, define los requisitos mínimos de resistencia y durabilidad que debe alcanzar el suelo estabilizado.
- Tipo de aditivo estabilizador: La naturaleza del agente estabilizador, ya sea cemento portland, emulsión asfáltica, cal u otro producto, debe ser compatible con las características del suelo y con los objetivos de mejora planteados, garantizando la efectividad del tratamiento.
- Experiencia en el tipo de estabilización a aplicar: La disponibilidad de antecedentes técnicos, investigaciones previas y personal calificado con experiencia en el método seleccionado constituye un factor determinante para asegurar la correcta ejecución del proceso de estabilización.

- Disponibilidad del aditivo estabilizador: La accesibilidad al agente estabilizador en la zona de ejecución del proyecto incide directamente en los plazos de ejecución y en los costos logísticos asociados al transporte y suministro del producto.
- Disponibilidad del equipo adecuado: La existencia de maquinaria y equipos apropiados para la mezcla, compactación y control de calidad del material estabilizado es indispensable para garantizar el cumplimiento de los estándares técnicos establecidos por la normativa vigente.
- Costos comparativos: El análisis económico entre las distintas alternativas de estabilización disponibles permite identificar la solución que ofrece el mejor equilibrio entre costo, desempeño técnico y vida útil esperada, optimizando así los recursos invertidos en el proyecto vial.

La evaluación integral de estos factores, en conjunto con los criterios geotécnicos previamente establecidos, constituye la base para una toma de decisiones técnicamente fundamentada y económicamente sostenible en materia de estabilización de suelos.

Los mismos que se explican en la siguiente figura:

Figura 5

Proceso de selección del tipo de estabilización

Nota: MTC (2018)

De manera complementaria, la normativa técnica pone a disposición de los profesionales guías de referencia orientadas a facilitar la toma de decisiones en el proceso de estabilización, proporcionando lineamientos específicos para la selección del tipo de estabilizador más adecuado en función de las características y clasificación del suelo analizado, estableciendo además los rangos de dosificación recomendados para cada caso y los tiempos mínimos requeridos antes de la apertura al tráfico vehicular una vez concluido el tratamiento. La consulta y aplicación de dichas guías resulta de gran utilidad práctica, en tanto permiten orientar de manera objetiva las decisiones de diseño,

reducir el margen de error en la selección del agente estabilizador y garantizar que los procesos constructivos se desarrollen dentro de los parámetros técnicos establecidos por la normativa vigente.

Tabla 1

Guía para elegir el estabilizador adecuado

Área	Clase de suelo	Tipo de Estabilizador Recomendado	Restricción en LL e IP del suelo	Restricción en el porcentaje que pasa la malla 200	Observaciones
1 A	SW o SP	(1) Asfalto			
		(2) Cemento Portland			
		(3) Cal-Cemento-Cenizas volcánicas	IP no excede de 25		
1 B	SW - SM o SP - SM o SW - SC o SP - PC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		
		(2) Cemento Portland	IP no excede de 30		
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volcánicas	IP no excede de 25		
1 C	SM o SC o SM - SC	(1) Asfalto	IP no excede de 10	No de e exceder el 30% en peso	
		(2) Cemento Portland	(b)		
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volcánicas	IP no excede de 25		
2 A	GW o GP	(1) Asfalto			Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Portland			El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N°4.
		(3) Cal-Cemento-Cenizas volcánicas	IP no excede de 25		
2 B	GW - GM o GP - GM o GW - GC o GP - GC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Portland	IP no excede de 30		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N°4.
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas volcánicas	IP no excede de 25		
2 C	GM o GC o GM - GC	(1) Asfalto	IP no excede de 10		Solamente material bien graduado.
		(2) Cemento Portland	(b)		El material deberá contener cuanto menos 45% en peso de material que pasa la malla N°4.
		(3) Cal	IP no menor de 12		
		(4) Cal-Cemento-Cenizas	IP no excede de 25		
3	CH o CL o MH o ML o OH o OL o ML - CL	(1) Cemento Portland	LL no menor de 40 IP no menor de 30		Suelos orgánicos y fuertemente ácidos contenidos en esta área no son susceptibles a la estabilización por métodos ordinarios
		(2) Cal	IP no menor de 12		

IP = Índice Plástico; (b) IP 20 + (50-porcentaje que pasa la Malla N° 200) / 4

Nota: US Army Corps of Engineers.

Tabla 2

Cómo elegir el estabilizador adecuado: una guía de referencia adicional

Tipo de Estabilizador Recomendado	Normas Técnicas	Suelo ⁽¹⁾	Dosificación ⁽³⁾	Curado (Apertura al Tránsito) ⁽⁵⁾	Observaciones
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 LL > 40% IP ≥ 18% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatas (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 1 0% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 1 5% - AG ≤ 18%	2 - 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 O AASHTO M208	A-1, A-2 y A3 Pasante malla N° 200 ≤ 10% IP ≤ 8% Equiv. Arena ≥ 40% CMO ⁽²⁾ < 1.0% Sulfatos (SO ₄ ²⁻) < 0.6% Abrasión < 50% Durabilidad SO ₄ Ca ⁽⁴⁾ - AF ≤ 1 0% - AG ≤ 12% Durabilidad SO ₄ Mg - AF ≤ 15% - AG ≤ 18%	4 - 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado o Illinois.
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatas (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos capas. Diseño de la mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E1109	A-1, A-2, y A-3 IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Sulfatas (SO ₄ ²⁻) < 0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EC-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8% ≤ IP ≤ 1 5% CMO ⁽²⁾ < 3.0% Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba.
Cloruro de Magnesio	MTC E1109	A-1, A-2 y A-3 IP ≤ 15% CMO ⁽²⁾ < 3.0% pH: mínimo 5 Abrasión < 50%	50 - 80 kg/m ³	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba.
Enzimas	EC-CBT-2008 Sección 308B MTC E1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 6% ≤ IP ≤ 1 5% 4.5 < pH < 8.5 CMO ⁽²⁾ No debe contener Abrasión < 50% % < N ° 200 :10 - 35%	1L / 30-33 m ³	De acuerdo a Especificaciones del fabricante	
Aceites sulfonados		Aplicable en suelos con partículas finas limosas o arcillosas, con LL bajo, arcillas y limos muy plásticos CMO ⁽²⁾ < 1.0% Abrasión < 50%		De acuerdo a Especificaciones del fabricante	

Nota: MTC (2014)

Para la correcta aplicación del proceso de estabilización, se establecen las siguientes consideraciones técnicas que deben ser tomadas en cuenta durante la planificación y ejecución de los trabajos:



(1) El tratamiento de estabilización debe ejecutarse por capas con un espesor comprendido entre 6 y 8 pulgadas, empleando materiales cuyo tamaño máximo no supere las 2 pulgadas y que se encuentren libres de residuos vegetales u orgánicos. Todos los materiales de estabilización, ya sean suelos naturales, materiales de cantera o una combinación de ambos, deben describirse y registrarse con precisión en el expediente técnico del proyecto correspondiente.

(2) El parámetro CMO hace referencia al Contenido de Materia Orgánica presente en el suelo, cuya determinación resulta indispensable para evaluar la compatibilidad del material con el agente estabilizador seleccionado, dado que un contenido elevado de materia orgánica puede interferir negativamente en las reacciones de estabilización.

(3) Para el proceso de estabilización, la mezcla de trabajo debe especificarse en los proyectos y las dosificaciones, indicando el tipo de suelo tratado, la cantidad de estabilizador que se va a añadir, el volumen de agua necesario y los valores de CBR, la resistencia a la compresión no confinada o los resultados de los ensayos Marshall o Illinois modificados, cuando proceda, para cada tipo de estabilizador.

(4) Las especificaciones técnicas señaladas aplican de manera particular para proyectos ubicados en zonas con altitudes superiores a los 3,000 metros sobre el nivel del mar, condición que es especialmente relevante para el contexto del departamento de Puno, donde las condiciones climáticas y atmosféricas de la zona de altura influyen directamente en el comportamiento de los materiales estabilizados.

(5) Los parámetros de control y verificación establecidos deben ser evaluados una vez concluido satisfactoriamente el proceso de compactación del material tratado, garantizando así que los resultados obtenidos reflejen las condiciones reales de la capa estabilizada en su estado final de ejecución.

2.2.2.3. Métodos de Estabilización

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos establece una clasificación de los métodos de estabilización de suelos aplicables en proyectos viales, los cuales se describen a continuación:

a. Estabilización mecánica de suelos

La estabilización mecánica constituye una técnica de mejoramiento que actúa exclusivamente sobre la estructura física del suelo mediante la aplicación de energía de compactación, con el propósito de reducir el volumen de vacíos existente entre las partículas del material. Este método no altera la composición química ni la estructura mineralógica básica del suelo, limitándose a incrementar su densidad y resistencia a través del proceso de densificación mecánica. Su aplicación resulta adecuada cuando el material presenta condiciones granulométricas favorables que permiten alcanzar los niveles de compactación requeridos sin necesidad de incorporar agentes estabilizadores externos.

b. Estabilización por combinación de suelos

Este método consiste en la mezcla controlada del suelo existente en sitio con materiales de préstamo seleccionados, con el objetivo de corregir las deficiencias del material natural y obtener una mezcla resultante que cumpla con los requisitos técnicos establecidos en el Manual de Carreteras: Especificaciones

Técnicas Generales para Construcción. La proporción de materiales incorporados se determina en función de las características geotécnicas del suelo original y de las propiedades que se desea alcanzar en el material combinado, siendo necesario verificar mediante ensayos de laboratorio que la mezcla obtenida satisface los parámetros mínimos exigidos por la normativa vigente.

c. Estabilización por sustitución de suelos

La estabilización por sustitución está concebida específicamente para la construcción de la subrasante mejorada, empleando únicamente material adicionado en reemplazo del suelo natural existente. Este método contempla dos situaciones de aplicación: la primera consiste en construir la capa de material adicionado directamente sobre el suelo natural sin intervención previa del terreno, mientras que la segunda implica la excavación y remoción del suelo natural deficiente para posteriormente sustituirlo íntegramente por material de aportación con mejores propiedades geotécnicas. La elección entre una u otra modalidad depende del grado de inadecuación del suelo natural y de las condiciones particulares de cada proyecto.

d. Estabilización física

De acuerdo con Dellarosa (2013), la estabilización física comprende el análisis y optimización de las propiedades intrínsecas del suelo sin recurrir a la incorporación de agentes químicos externos. Este método involucra el estudio detallado de la distribución granulométrica del material, la evaluación de la cohesión aportada por el ligante natural disponible y la determinación del

contenido óptimo de humedad que debe conservarse en la masa del suelo. Para preservar estas condiciones en el tiempo, se recurre a la implementación de sistemas de protección superficial adecuados que eviten las pérdidas de humedad y la degradación del material tratado por efectos climáticos o de tráfico.

Valle (2010) señala que los suelos de grano grueso, tales como gravas y arenas, poseen una elevada fricción interna que les confiere una considerable capacidad para resistir grandes esfuerzos mecánicos. Sin embargo, esta característica por sí sola no es suficiente para garantizar su estabilidad como capa de asiento en la estructura de una carretera, dado que la ausencia de cohesión entre sus partículas permite que estas se desplacen libremente ante la acción de las cargas vehiculares. Este comportamiento genera una progresiva disgregación del material, comprometiendo la integridad estructural del pavimento y reduciendo significativamente su vida útil si no se aplica algún tratamiento de estabilización que mejore la cohesión del conjunto.

e. Estabilización química

La estabilización química del suelo es un método que se basa en el uso de un producto químico, a menudo denominado «estabilizador químico», que debe mezclarse de manera homogénea con el suelo que se va a tratar y, a continuación, curarse de acuerdo con las especificaciones técnicas del producto (MTC, 2014).

Desde el punto de vista de su mecanismo de acción, Dellarosa (2013) señala que este tipo de estabilización aprovecha las reacciones químicas que se producen entre el agente estabilizador y los minerales presentes en la fracción



fin del suelo, con el propósito de generar cohesión en el material mediante la acción de ligantes hidráulicos o bituminosos, cuya función adicional consiste en impermeabilizar la masa del suelo tratado, protegiéndola de la acción perjudicial del agua.

El mecanismo físico característico de este proceso es la aglomeración de las partículas del suelo, la cual se logra mediante la incorporación de productos que incrementan la cohesión del material, entre los que se destacan resinas, polímeros, cemento hidráulico, cal, yeso, fillers cementantes y cenizas, entre otros (Dellarosa, 2013).

En lo que respecta a la estabilización química, existen varias formas de aplicarla:

- Suelos estabilizados con cemento portland: Tratamiento en el que el cemento portland actúa como agente cementante, generando reacciones de hidratación que incrementan la resistencia y rigidez del suelo tratado.
- Suelos estabilizados con cal hidratada: Método que emplea cal hidratada para modificar las propiedades plásticas del suelo, reduciendo su índice de plasticidad y mejorando su capacidad de soporte mediante reacciones puzolánicas de largo plazo.
- Suelos estabilizados con sales: Técnica que consiste en la construcción de una o más capas de suelo estabilizado mediante la incorporación de sales como cloruro de sodio, cloruro de magnesio y cloruro de calcio, las cuales actúan reduciendo la

sensibilidad del suelo a la humedad y mejorando su comportamiento ante las cargas del tráfico.

2.2.2.4. Ventajas de la estabilización

El desarrollo social y económico de un país guarda una relación directa con la accesibilidad y calidad de sus vías de comunicación, ya sean terrestres, viales, acuáticas o aéreas. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos alcanzados, las medidas orientadas a la protección y conservación de la infraestructura vial terrestre han resultado insuficientes en muchos contextos, generando interrupciones en la conectividad de comunidades y poblados aledaños. En este sentido, según Ensayos en Calidad del Cemento (2020), la estabilización de suelos mediante la incorporación de distintos componentes estabilizadores representa una alternativa práctica y accesible que contribuye significativamente al crecimiento económico y social de las regiones donde se aplica.

Las ventajas que ofrece la estabilización de suelos pueden clasificarse en dos categorías principales:

A. Ventajas técnicas

La estabilización es un término científico que se refiere a la posibilidad de mejorar la estabilidad volumétrica, la resistencia mecánica, la permeabilidad, la durabilidad y la compresibilidad del suelo, al tiempo que se aprovechan y potencian sus características inherentes. Asimismo, proporciona un soporte estructural sólido a la subrasante, incrementando considerablemente la vida útil del pavimento. De igual manera, fortalece la subrasante frente a los efectos

adversos del cambio climático, reduciendo significativamente el porcentaje de deformaciones que podrían comprometer la integridad de la estructura vial a lo largo del tiempo.

B. Ventajas económicas y ambientales

Desde la perspectiva económica y ambiental, la estabilización de suelos no requiere de inversiones adicionales significativas en materiales externos, lo que se traduce en una reducción de los costos globales del proyecto. Por otro lado, el material removido que no sea incorporado al proceso constructivo de la vía puede ser reutilizado con fines ambientales, como la reforestación mediante el plantado de árboles, contribuyendo así a la mitigación del impacto ambiental generado por las obras. Finalmente, al garantizar una base estructural de mayor calidad y resistencia, se prolonga considerablemente la durabilidad del pavimento, lo que se traduce en menores costos de mantenimiento y una mayor sostenibilidad de la inversión vial a largo plazo.

2.2.3. Estabilización con cemento Portland

2.2.3.1. Definición de cemento Portland

De acuerdo con Barbudo y Chinchón (2014), el cemento portland se define como un conglomerante hidráulico cuya característica fundamental radica en su capacidad para formar masas de naturaleza pétreas, con elevada resistencia y durabilidad, cuando es combinado con áridos y agua en las proporciones adecuadas. El proceso de endurecimiento de la mezcla resultante no es inmediato, sino que se desarrolla de manera progresiva transcurrido un determinado período de tiempo desde el momento en que se realiza el amasado,

durante el cual se producen una serie de reacciones químicas de hidratación que confieren al material sus propiedades estructurales definitivas.

Entre las cualidades más destacadas del cemento portland se encuentran su maleabilidad durante la fase de mezclado, que permite adaptarlo a diversas formas y configuraciones; su elevada resistencia mecánica una vez endurecido; y su notable durabilidad frente a los agentes externos a los que puede estar expuesto. Estas propiedades, combinadas de manera sinérgica, otorgan a los productos derivados del cemento portland una amplia aplicabilidad en el campo de la construcción, siendo empleados de manera generalizada tanto en la edificación de estructuras como en la ejecución de obras de infraestructura pública, entre las que se incluye la construcción y estabilización de capas estructurales en pavimentos viales.

2.2.3.2. Composición del cemento Portland

En su ponencia de 2017 en el congreso de la ASOCEM, Luis Pacheco señaló que los cuatro minerales principales que componen el cemento Portland son el óxido de calcio (CaO), la sílice (SiO_2), la alúmina (Al_2O_3) y el óxido de hierro (Fe_2O_3). Para fabricar el clinker, que es la parte más importante de la producción de cemento, se necesitan los siguientes materiales:

- **Componente calcáreo:** Representado principalmente por la caliza (CaCO_3), cuya participación en las materias primas necesarias para la fabricación del clínker oscila entre el 70% y el 80% del total.

- **Componente arcilloso:** Los silicatos de aluminio hidratados constituyen entre el 15 % y el 25 % de las materias primas necesarias para la fabricación de clinker.
- **Componentes correctores:** Incorporados con el propósito de ajustar la composición química del clinker, entre los que se destaca la arena, empleada para elevar el contenido de sílice, y los minerales de hierro, utilizados para incrementar el contenido de óxido de hierro hasta los niveles requeridos.

2.2.3.3. Definición del suelo-cemento

El contenido óptimo de humedad y la densidad máxima se consiguen mediante la compactación de la mezcla de tierra y cemento, la cual, una vez finalizado el proceso de hidratación del cemento en condiciones de curado controladas que evitan la pérdida de humedad, da lugar a un material duro y duradero (Montejo, 2018). Uno de los muchos usos de la mezcla de tierra y cemento en ingeniería civil es la estabilización de capas estructurales de pavimentos, debido a su bajo coste de fabricación y a sus buenas propiedades mecánicas.

2.2.3.4. Componentes del suelo-cemento

Los componentes fundamentales que intervienen en la conformación del suelo-cemento son los siguientes:

- **Agua:** El agua empleada en la mezcla debe estar libre de cantidades perjudiciales de álcalis, ácidos y materia orgánica que puedan interferir en el proceso de hidratación del cemento. En

términos generales, el agua potable cumple satisfactoriamente con los requisitos establecidos para su uso en este tipo de tratamiento.

- **Suelo:** Como se mencionó anteriormente, prácticamente la totalidad de los tipos de suelo pueden ser sometidos a estabilización con cemento portland, sin que sea indispensable que el material presente una granulometría bien gradada, dado que la cohesión del conjunto se alcanza mediante el proceso de hidratación del cemento y no depende exclusivamente de la distribución granulométrica del material. No obstante, es importante considerar que los materiales con granulometría deficiente o con un elevado porcentaje de finos demandan una mayor cantidad de cemento para alcanzar los niveles de resistencia requeridos, lo que pone de manifiesto la conveniencia de que los vacíos entre partículas se encuentren rellenos con material sólido de granulometría gruesa, optimizando así el consumo de cemento y la eficiencia del tratamiento.

En lo que respecta a la diversidad de materiales susceptibles de ser tratados con cemento portland, cabe destacar que su aplicación resulta especialmente efectiva en suelos de naturaleza granular y en mezclas de estos, tales como limos, arenas gruesas y finas, gravas, o combinaciones de estas fracciones. En función de sus características granulométricas y composición, se distinguen tres categorías de suelos con comportamientos diferenciados ante la estabilización con cemento:

- **Arenas y gravas:** Constituyen los materiales que presentan mayor compatibilidad con el proceso de estabilización con cemento portland, dado que admiten una adecuada pulverización y mezclado con el agente estabilizador. Una característica relevante de estos materiales es que la cantidad de cemento requerida para alcanzar los niveles de resistencia deseados es relativamente menor en comparación con otros tipos de mezclas, lo que los convierte en la alternativa más eficiente desde el punto de vista técnico y económico.
- **Suelos arenosos con deficiencia de finos:** Este tipo de material, representado característicamente por arenas de playa u otras arenas limpias con escaso contenido de partículas finas, demanda una mayor dosificación de cemento para lograr una estabilización efectiva. Durante la etapa constructiva pueden presentarse dificultades asociadas a la falta de cohesión del material, aunque la incorporación del cemento contribuye a incrementar la plasticidad de la mezcla resultante, mejorando parcialmente su trabajabilidad.
- **Suelos limosos y arcillosos:** Esta categoría de suelos presenta las mayores dificultades en el proceso de estabilización con cemento portland, principalmente debido a los problemas que genera la pulverización del material y la obtención de una mezcla íntima y homogénea con el estabilizador. Esta problemática se acentúa de manera notable en suelos con elevado contenido de

arcilla, dado que, a mayor proporción de arcilla en el suelo, mayor es la cantidad de cemento requerida para alcanzar la estabilización deseada, y más complejo resulta el proceso de pulverización del material. Por estas razones, el cemento portland presenta una aplicabilidad limitada en suelos predominantemente arcillosos, siendo la cal hidratada el agente estabilizador más recomendado para el tratamiento de este tipo de suelos.

2.2.3.5. Clasificación de materiales

De acuerdo con el MTC (2014), los materiales que presentan mayor aptitud para ser estabilizados con cemento portland corresponden a los suelos granulares clasificados como A-1, A-2 y A-3 según la clasificación AASHTO, caracterizados por poseer finos de plasticidad baja a media, con límite líquido inferior a 40 y un índice de plasticidad que no supere el valor de 18. Estas condiciones granulométricas y plásticas favorecen una interacción adecuada entre el suelo y el cemento, garantizando la efectividad del proceso de estabilización y el logro de los niveles de resistencia requeridos para la capa estructural tratada.

Para la determinación de la dosificación óptima de cemento en función del tipo de suelo a estabilizar, la normativa establece rangos específicos de contenido de estabilizador para cada clasificación de material, los cuales se encuentran sistematizados en la Tabla 3. La consulta y aplicación de estos valores de referencia resulta indispensable durante la etapa de diseño, en tanto permiten orientar la selección de la dosificación más adecuada antes de proceder

a su verificación experimental mediante los ensayos de laboratorio correspondientes.

Tabla 3

Tipo de cemento necesario para la estabilización suelo-cemento

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3 – 5
A-1-b	5 – 8
A-2	5 – 9
A-3	7 – 11
A-4	7 – 12
A-5	8 – 13
A-6	9 – 15
A-7	10 – 16

Nota: G. Pavimentos (2014).

El Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 establece que todo material destinado a ser estabilizado con cemento portland deberá encontrarse libre de materia orgánica u otras sustancias que pudieran interferir negativamente en el proceso de elaboración y fraguado del concreto. Adicionalmente, el material debe satisfacer los siguientes requisitos técnicos generales:

A) Granulometría

La distribución granulométrica del material a estabilizar puede corresponder a los tipos de suelo A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 según la clasificación AASHTO. En cuanto al tamaño máximo de las partículas, este no podrá exceder los 5 cm (2 pulgadas) ni superar un tercio del espesor de la capa compactada, condición que garantiza una distribución uniforme del material dentro de la capa estructural tratada.

B) Plasticidad

La fracción del material que pasa el tamiz de 425 mm (N.º 40) deberá exhibir un Límite Líquido inferior a 40 y un Índice de Plasticidad menor al 18%, valores que deben ser determinados conforme a las normas de ensayo MTC E 110 y MTC E 111 respectivamente. El cumplimiento de estos parámetros asegura que el material presente una plasticidad compatible con el proceso de estabilización con cemento portland.

C) Composición química

Con el propósito de evitar reacciones químicas adversas que puedan comprometer la integridad del material estabilizado, la proporción de sulfatos presentes en el suelo, expresada como SO_4^{-2} , no podrá exceder el 0,2% en peso. Un contenido superior a este límite podría generar reacciones expansivas que deterioren progresivamente la capa tratada.

D) Abrasión

Los áridos gruesos utilizados para estabilizar las capas de pavimento no deberán presentar una pérdida por abrasión superior al 50 %, según se determine mediante el ensayo de abrasión de Los Ángeles, de conformidad con la norma MTC E 207. Esta disposición garantiza que el material sea lo suficientemente resistente como para soportar el desgaste mecánico causado por el tráfico rodado.

E) Solidez

Cuando los materiales a estabilizar estén destinados a conformar capas estructurales y el proyecto se encuentre ubicado en zonas con altitud igual o



superior a los 3,000 metros sobre el nivel del mar, condición que resulta particularmente relevante para el contexto del departamento de Puno, los agregados gruesos no deberán presentar pérdidas por solidez en sulfato de magnesio superiores al 18%, mientras que para los materiales finos dicha pérdida no podrá superar el 15%. Este requisito cobra especial importancia en zonas de alta montaña, donde los ciclos de congelamiento y deshielo pueden acelerar significativamente la degradación de los materiales que no cumplen con los niveles mínimos de solidez exigidos.

2.2.3.6. Ensayos para el suelo estabilizado con cemento portland

Con el propósito de verificar que el suelo estabilizado con cemento portland alcanza los niveles de resistencia requeridos y cumple con los estándares de calidad establecidos por la normativa técnica vigente, se ejecuta un conjunto de ensayos de laboratorio sobre el material tratado. Dichos ensayos permiten evaluar de manera objetiva y cuantificable el comportamiento mecánico del suelo estabilizado bajo distintas condiciones de carga y humedad, constituyendo una herramienta indispensable para validar la efectividad del proceso de estabilización aplicado. Los ensayos correspondientes, junto con sus especificaciones técnicas y valores de referencia, se presentan de manera sistematizada en la tabla siguiente.

Tabla 4

Análisis del suelo y requisitos para la estabilización del suelo mediante cemento Portland

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Frecuencia	Lugar de Muestreo
Suelo Estabilizado con Cemento Portland	Granulometría	MTC E 107	750 m ³	Pista
	Índice Plástico	MTC E 111	750 m ³	Pista
	Relación Humedad Densidad	MTC E1102	750 m ³	Pista
	Compresión simple	MTC E 1101 MTC E 1103	2 muestras por día	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	Cada 250 m ²	Pista
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	2000 m ³	Cantera
	Durabilidad	MTC E 209	2000 m ³	Cantera
	Sulfatos	NTP 339.178	2000 m ³	Cantera
	pH	NTP 339.073	2000 m ³	Fuente de agua
	Sulfatos	NTP 339.074	2000 m ³	Fuente de agua
	Materia Orgánica	NTP 339.072	2000 m ³	Fuente de agua

Nota: MTC (2013)

2.2.4. Estabilización con emulsión asfáltica

2.2.4.1. Definición de la emulsión asfáltica

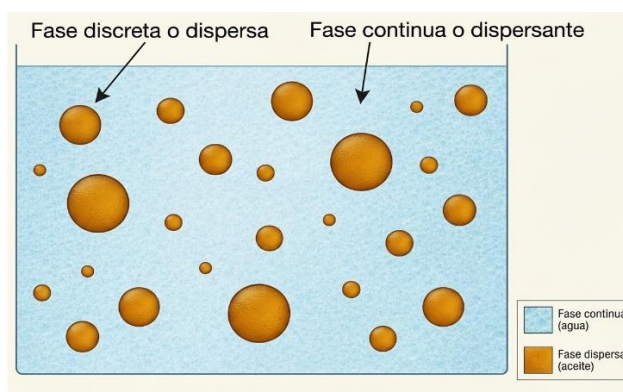
De acuerdo con González, Jiménez y López (2007), la emulsión asfáltica se define como una dispersión de un líquido en otro, en la que las partículas de asfalto se presentan en forma de glóbulos microscópicos de entre 4 y 6 micrómetros de superficie, los cuales se encuentran dispersos en una fase acuosa de naturaleza jabonosa. En términos de su configuración sistémica, la emulsión asfáltica está constituida por el agua como fase continua y por las

micrométricas gotas de asfalto como fase dispersa, conformando así una mezcla de carácter heterogéneo, pero visualmente homogénea.

Dado que el asfalto es por naturaleza una sustancia hidrófoba, es decir, que repele el agua y no es miscible con ella, su dispersión en medio acuoso no puede lograrse de manera espontánea. Esta condición hace indispensable la incorporación, durante el proceso de fabricación, de productos denominados agentes emulsificantes, cuya función principal consiste en reducir la tensión superficial existente en la interfaz entre las fases acuosa y asfáltica. Al actuar sobre dicha interfaz, los emulsificantes incrementan el área interfacial disponible, manteniendo los glóbulos de asfalto en estado de dispersión estable dentro de la fase acuosa y evitando su coalescencia o separación prematura.

Figura 6

Esquema de la emulsión asfáltica



Nota: Instituto mexicano de transporte, 2003

2.2.4.2. Composición de la emulsión asfáltica

La emulsión asfáltica está conformada por tres componentes fundamentales: el asfalto, el agua y los agentes emulsivos, cada uno de los cuales cumple una función específica dentro del sistema.

a) Asfalto

La sustancia aglutinante conocida como asfalto está compuesta por una compleja combinación de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo el más común el betún. Su color varía del marrón oscuro al negro. Se extrae principalmente mediante la destilación del petróleo, proceso que consiste en separar los componentes volátiles del crudo. La transformación del petróleo bajo la acción prolongada de altas presiones y temperaturas también produce asfalto en formas naturales, como en lagos o impregnando rocas porosas.

Entre sus propiedades más destacadas se encuentran su notable capacidad adhesiva, su flexibilidad, su impermeabilidad y su durabilidad, así como su alta resistencia frente a la acción de ácidos, sales y álcalis. Estas cualidades lo han convertido en uno de los ligantes más antiguos y ampliamente utilizados en la construcción vial. Al ser un material termoplástico, el asfalto se funde de manera gradual cuando es sometido a calentamiento, lo que facilita su manipulación y aplicación en obra.

b) Agua

El agua constituye el segundo componente en importancia dentro de la emulsión asfáltica y su calidad influye directamente en las propiedades del producto final. No toda el agua es apta para la elaboración de emulsiones estables, dado que la presencia de minerales, iones o impurezas en solución o suspensión coloidal puede alterar significativamente el comportamiento del sistema.

La presencia de iones de calcio y magnesio favorece la formación de emulsiones catiónicas estables, por lo que en ocasiones se adiciona cloruro de calcio para incrementar su estabilidad durante el almacenamiento. Por el contrario, estos mismos iones pueden resultar perjudiciales para las emulsiones aniónicas, al generar reacciones que producen sales insolubles que desestabilizan el sistema. De igual manera, los aniones de carbonatos y bicarbonatos pueden facilitar la estabilización de emulsiones aniónicas, pero desestabilizar las catiónicas. El uso de aguas con impurezas puede provocar desequilibrios en la composición de la emulsión, ocasionando roturas prematuras o un desempeño deficiente del producto.

c) Agentes Emulsivos

Los compuestos cuya estructura molecular incluye grupos hidrófilos —ya sean iónicos o no iónicos— unidos a una cadena lipófila más larga de origen hidrocarbónico se denominan agentes emulsionantes, tensioactivos o agentes de superficie. Debido a su estructura molecular, pueden actuar como mediadores entre las fases del asfalto y del agua, atrayendo a los grupos hidrófilos hacia la mayor polaridad del agua y a los grupos lipófilos hacia la menor polaridad del asfalto.

Su función principal consiste en reducir la tensión superficial en la interfaz entre ambas fases, manteniendo los glóbulos de asfalto dispersos de manera estable en el medio acuoso. En función de su forma de ionización en el agua, los surfactantes se clasifican en tres tipos: aniónicos, no iónicos y catiónicos. La selección adecuada del agente emulsivo, en combinación con un asfalto de calidad apropiada, agua de buenas características y procedimientos mecánicos

correctos, constituye el factor determinante para lograr una emulsificación efectiva y un producto final con las propiedades técnicas requeridas.

2.2.4.3. Clasificación de la Emulsión Asfáltica

Para lograr una dispersión homogénea de las gotitas de asfalto en la fase acuosa, las emulsiones asfálticas pueden superar la tensión interfacial entre el agua y el asfalto. Su carga eléctrica y su punto de ruptura son dos parámetros básicos que permiten clasificarlas en función de esta propiedad.

A. Clasificación según la carga eléctrica

De acuerdo con la naturaleza del agente emulsificante empleado en su fabricación, las emulsiones asfálticas se clasifican en tres categorías:

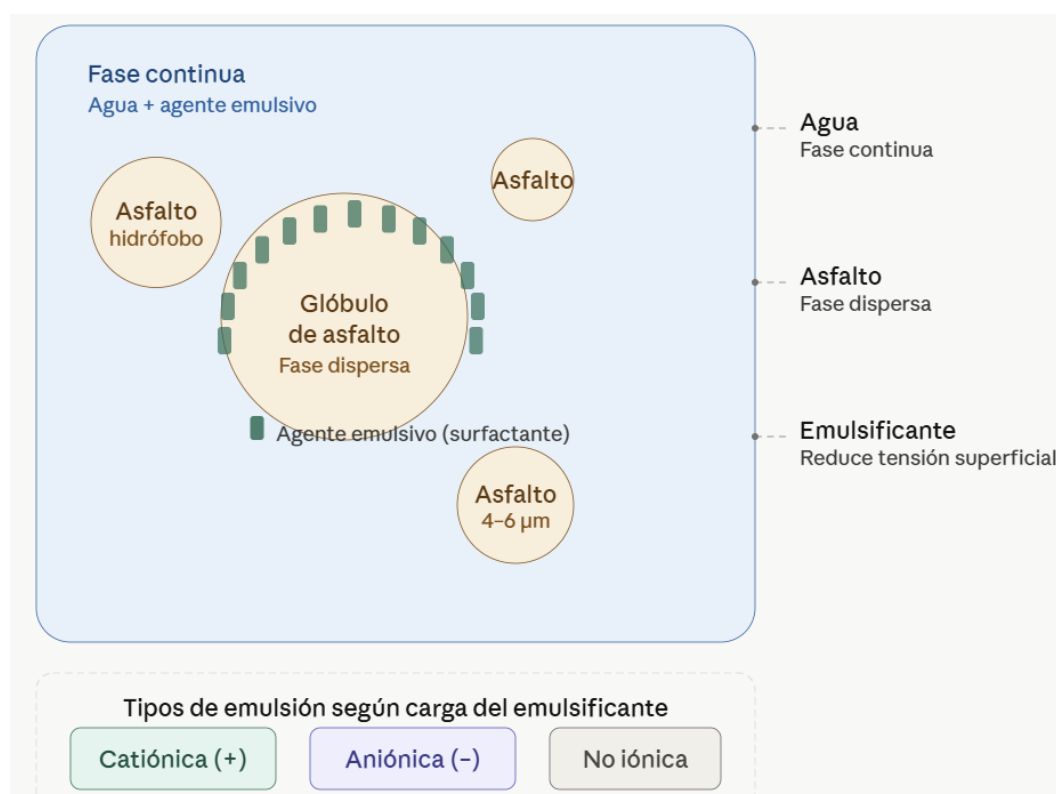
- **Emulsiones aniónicas:** Emulsiones aniónicas: Estas emulsiones contienen sales de ácidos orgánicos de cadena compleja, ya sean de sodio o de potasio, y se depositan en el ánodo debido a su carga negativa. Cuando se utilizan con áridos calcáreos, dan excelentes resultados, ya que los áridos adquieren una carga positiva que el ligante aprovecha a su favor.
- **Emulsiones catiónicas:** Obtenidas mediante la reacción de ácidos inorgánicos fuertes, como el ácido clorhídrico, con aminas grasas, estas emulsiones se caracterizan por su polaridad de carga positiva. Su uso es preferente con agregados silíceos, los cuales se ionizan negativamente, generando una afinidad química favorable con el ligante.

- **Emulsiones no iónicas:** Conformadas por partículas sin carga eléctrica, es decir, de naturaleza neutra. Si bien en la actualidad su aplicación en proyectos viales es limitada, se están desarrollando estudios e investigaciones orientados a ampliar su uso, con perspectivas de mayor relevancia a medida que avance la tecnología en este campo.

Cabe destacar que las emulsiones aniónicas y catiónicas son las de mayor utilización en proyectos viales, siendo las catiónicas las más difundidas en el contexto latinoamericano debido a su compatibilidad con la mayor parte de los agregados disponibles en la región.

Figura 7

Composición esquemática de la emulsión asfáltica y sus componentes



B. Clasificación según la velocidad de rotura

Según Jara y Angulo (2018), las emulsiones asfálticas también se clasifican en función de la velocidad con la que se produce la rotura del sistema emulsionado al entrar en contacto con el agregado, distinguiéndose las siguientes categorías:

- **RS (Rapid-Setting o rotura rápida):** Emulsiones diseñadas para ser aplicadas sobre agregados, caracterizadas por no producir una rotura instantánea al momento del contacto con el material, lo que otorga a la mezcla un período de trabajabilidad que facilita su manejo y extensión en obra. Su aplicación es adecuada con pétreos que presentan un porcentaje de escurrimiento del asfalto superior al 75% y con materiales finos.
- **MS (Medium-Setting o rotura media):** Emulsiones formuladas para mezclarse con agregados de granulometría fina y densa, empleadas principalmente en carpetas asfálticas en frío elaboradas en planta y en procesos de estabilización asfáltica. Presentan tiempos de trabajabilidad más prolongados que las de rotura rápida, garantizando un mezclado homogéneo con materiales de gradación densa, mezclas de arena y materiales reciclados. Su viscosidad es relativamente baja y puede reducirse adicionalmente mediante dilución con agua.
- **SS (Slow-Setting o rotura lenta):** Al igual que las de rotura media, estas emulsiones están diseñadas para mezclarse con agregados

finos y materiales densamente gradados, siendo utilizadas en carpetas asfálticas en frío y en estabilizaciones asfálticas. Su principal ventaja radica en los tiempos de manejabilidad considerablemente más largos que ofrecen, lo que las convierte en la opción más adecuada para garantizar una mezcla íntima y homogénea con materiales de alta superficie específica. Su baja viscosidad puede ser ajustada mediante dilución con agua según los requerimientos del proyecto.

El Instituto del Asfalto (1993) afirma que algunas emulsiones pueden mezclarse con áridos, mientras que otras no. Algunos ejemplos son las emulsiones RS, MS, SS y QS, diseñadas específicamente para mezclarse con áridos finos. Según el Instituto del Asfalto, las emulsiones QS tienen un tiempo de ruptura más rápido que las emulsiones SS.

Por último, las distintas variedades de emulsiones se denominan mediante una combinación de letras y números que indican la viscosidad y la consistencia del cemento asfáltico subyacente. Las emulsiones con una viscosidad más baja se denotan con el número «1» en lugar del número «2», y algunos grados añaden las letras «h» y «s», que significan «duro» y «blando», respectivamente, para indicar si la base asfáltica es más dura o más blanda.

2.2.4.4. Procedimiento de fabricación de la emulsión asfáltica

Para fabricar emulsión asfáltica, el ligante asfáltico caliente se separa mecánicamente en pequeñas gotas coloidales, que a continuación se distribuyen en agua tratada con una pequeña cantidad de un agente emulsionante. Durante

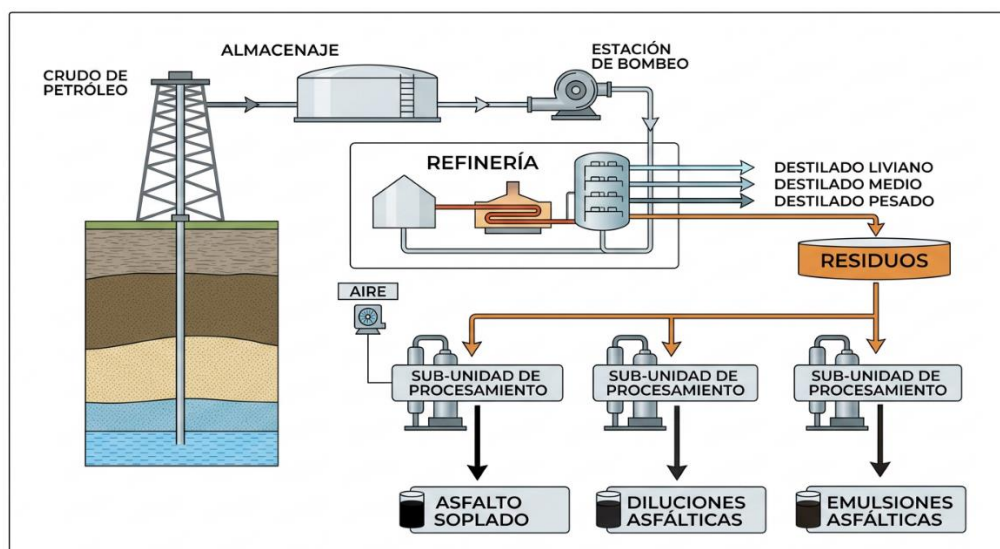
este proceso, el emulsionante garantiza que la fase continua (el agua) y la fase dispersa (las gotas micrométricas de asfalto) se mantengan en un equilibrio estable entre sí.

La fragmentación del asfalto en partículas de dimensiones coloidales se logra mediante el empleo de molinos coloidales, equipos que aplican fuerzas mecánicas de cizallamiento de alta intensidad sobre la mezcla de asfalto caliente y solución acuosa emulsificante, generando la dispersión homogénea de los glóbulos asfálticos en el medio acuoso.

El principio básico del funcionamiento de las emulsiones asfálticas consiste en que, una vez que el agua se evapora, el asfalto recupera su consistencia original gracias a la reconexión de las gotitas dispersas. Esto lo sitúa en las mejores condiciones para unir los áridos y garantizar la cohesión del material tratado, tal y como señala Villa (2014).

Figura 8

Preparación de una emulsión asfáltica para pulverización



Nota: (Ibáñez, H., 2003)

2.2.4.5. Rotura de la emulsión asfáltica

Las moléculas orgánicas con pesos moleculares relativamente elevados, como los emulsionantes catiónicos y aniónicos, presentan dos partes diferenciadas con afinidades opuestas. El grupo hidrocarburo lineal o cíclico se disuelve en el asfalto, pero el grupo polar es hidrófilo y soluble en agua. Los grupos ácidos de los emulsionantes aniónicos y los grupos amínicos saponificados de los emulsionantes catiónicos son direccionales, con la parte polar orgánica orientada hacia el asfalto y la parte polar inorgánica orientada hacia el agua.

Gracias a esta configuración molecular, los glóbulos de asfalto adquieren cargas eléctricas del mismo signo, lo que genera una repulsión mutua entre ellos que mantiene el sistema disperso de manera estable. Sin embargo, en función del tipo y concentración del emulsificante empleado, y en presencia de una superficie mineral, los glóbulos asfálticos depositan progresivamente sobre dicha superficie una película ligante tras transcurrir un período de tiempo determinado. Este fenómeno es conocido técnicamente como rotura de la emulsión.

Durante el proceso de rotura, la emulsión atraviesa un intervalo de transición en el que se incrementa progresivamente la concentración de asfalto en el sistema, hasta alcanzar un estado de rotura total en el que la emulsión ya no puede ser reactivada ni revivida, incluso en presencia de humedad. En este estado, el asfalto queda depositado definitivamente sobre las partículas del suelo o agregado, cumpliendo su función como agente ligante y estabilizador del material tratado.

2.2.4.6. Clasificación de materiales

De acuerdo con el EG-2013, los suelos destinados a estabilización deben cumplir con una serie de requisitos técnicos. En cuanto a la granulometría, el material no debe superar el 10% de partículas pasantes por el tamiz N° 200, debe encontrarse libre de impurezas y su contenido de materia orgánica no puede exceder el 1% del peso total. Respecto a la plasticidad, el índice correspondiente debe ser igual o inferior al 9%.

En lo que se refiere al tamaño del agregado grueso, este no podrá ser mayor a un tercio del espesor de la capa compactada de suelo-emulsión, siendo el espesor mínimo de dicha capa de 15 cm cuando se utiliza emulsión asfáltica como agente estabilizante. Asimismo, el contenido de sulfatos expresado como SO_4^- no debe rebasar los 6 000 ppm.

Desde el punto de vista mecánico, los áridos triturados no pueden presentar una pérdida por abrasión superior al 50 %. Las capas de materiales estabilizados deben cumplir normas de durabilidad más estrictas; por ejemplo, cuando se utiliza sulfato de sodio, los áridos gruesos pueden presentar pérdidas de hasta el 12 % y los materiales finos, del 10 %; cuando se utiliza sulfato de magnesio, los límites se elevan al 18 % y al 15 %, respectivamente.

Por último, la emulsión asfáltica que se utilice debe ser de ruptura lenta (CSS-1h) y catiónica, tal y como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 5

Requisitos de las emulsiones asfálticas con componentes catiónicos

Características	Ensayo	CSS-1h	
		Min.	Max.
Viscosidad. Saybort Furol a 77°F (25 °C). s	MTC E 403	20	100
Estabilidad de Almacenamiento, 24-h, %*	MTC E 404		1
Carga de partícula	MTC E 407	Positivo	
Prueba de Tamiz. %	MTC E 405		0,1
Mezcla por Cemento, %	ASTM D-6935		2,0
Destilación: - Residuo, %	MTC E 401	57	
Pruebas sobre el Residuo de destilación: - Penetración, 77°F (25°C), 100 g, 5s	MTC E 304	40	90
- Ductilidad, 77°F (25°C), 5 cm/min, cm	MTC E 306	40	
- Solubilidad en Tricloroetileno, %	MTC E 302	97,5	

Nota: (MTC, 2013)

2.2.4.7. Ensayos para el suelo estabilizado con emulsión asfáltica

En la siguiente tabla se enumeran los ensayos que deben realizarse en el suelo estabilizado para garantizar que cumple los criterios de calidad requeridos.

Tabla 6

Estabilización del suelo con emulsión asfáltica: ensayos y parámetros

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Frecuencia	Lugar de Muestreo
Suelo	Granulometría	MTC E204	750 m ³	Pista
	Plasticidad	MTC E110	750 m ³	Pista
	Sulfatos	NTP 339.178	2000 m ³	Pista
	Materia Orgánica	AASHTO T194	2000 m ³	Pista
	Abrasión	MTC E 207	2000 m ³	Pista
	Durabilidad	MTC E 209	2000 m ³	Pista
Suelo Estabilizado con Emulsión	Contenido residuo de asfalto	MTC E 502	2 por día	Pista
	Granulometría	MTC E 204	2 por día	Pista
	Marshall	MTC E 504	2 por día	Pista
	Densidad de campo	MTC E 506 MTC E 508 MTC E 5010	Cada 250 m ²	Pista
	Espesor	MTC E 507	Cada 250 m ²	Pista

Nota: (MTC, 2013)

2.2.5. Ensayos Estándar

a) Contenido de Humedad (Norma NTP 339.160 - 2001)

Este ensayo permite cuantificar el agua presente en una muestra, expresando su volumen como porcentaje del volumen total de la mezcla original. Los equipos necesarios y el procedimiento de ejecución se encuentran descritos en detalle dentro de las normativas AASHO T55 y ASTM D95.

b) Peso Específico (ASTM C217)

A la hora de calcular el contenido de huecos de las mezclas asfálticas compactadas para pavimentación, la densidad es uno de los parámetros que se tienen en cuenta. A determinadas temperaturas, se trata de la relación entre el



peso de un material y el del agua en un volumen determinado, medidos en el mismo volumen. Un peso de 1,05 implica que, a temperatura ambiente, la sustancia es 1,05 veces más densa que el agua.

Dado que tanto los líquidos como la mayoría de los sólidos experimentan variaciones volumétricas ante cambios de temperatura expandiéndose al calentarse y contrayéndose al enfriarse resulta indispensable indicar las temperaturas del material y del agua al momento de reportar el valor. Por ejemplo, la expresión P.E. a 15/15 °C señala que ambas sustancias se midieron a 15 °C. La determinación del peso específico del betún asfáltico se realiza habitualmente mediante el método del picnómetro, regulado por las normas AASHO T43 y ASTM D70.

c) Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D-422, MTC 107)

Este método, que a veces se denomina «análisis mecánico», se utiliza para determinar las proporciones de roca, grava, arena, limo y arcilla presentes en una muestra de suelo mediante el análisis de la distribución granulométrica.

La metodología aplicada depende del tipo de suelo: en materiales de grano grueso se recurre al tamizado en seco, mientras que en suelos de grano fino se emplea la sedimentación en agua mediante el análisis granulométrico por vía húmeda (Polanco, 2004).

Cuando el suelo contiene una fracción fina que no puede separarse mecánicamente de las partículas gruesas, se realiza un prelavado previo para removerla. El material retenido en el tamiz durante esta operación se seca y tamiza posteriormente, en tanto que la fracción que lo atraviesa es analizada

mediante la prueba del hidrómetro. Este último procedimiento se basa en la Ley de Stokes y es especialmente aplicable a partículas de naturaleza arcillosa (Salazar, 2011).

d) Límite Líquido (ASTM D-4318, MTC E110)

El suelo deja de comportarse como una sustancia plástica y empieza a comportarse más bien como un fluido viscoso cuando alcanza un nivel de humedad conocido como «límite líquido». Redondee el resultado a la centésima más cercana. El ensayo se realiza con material que ha pasado por un tamiz n.º 40 (0,425 mm).

La definición original de este parámetro fue establecida por Atterberg, aunque su metodología de determinación ha experimentado diversas modificaciones a lo largo del tiempo. En 1927, Terzaghi sugirió a Casagrande el diseño de un aparato mecánico que redujera al mínimo los errores atribuibles al operador. El procedimiento consiste en depositar una pasta de suelo en la copa del dispositivo, trazar una ranura central con la herramienta normalizada y, mediante una manivela, elevar y dejar caer la copa desde una altura de 10 mm. Se define como límite líquido el contenido de agua, expresado en porcentaje, necesario para que los bordes de la ranura se unan a lo largo de 12,7 mm en exactamente 25 golpes (Shuan, 2004).

e) Límite Plástico (ASTM D-4318, MTC E111)

El límite plástico corresponde al contenido de humedad en el que el suelo comienza a agrietarse y fracturarse al intentar formar pequeños cilindros o rollitos. La prueba se lleva a cabo con la fracción arcillosa que pasa por el tamiz



Nº 40 (400 μ m), partiendo de una humedad ligeramente superior al límite plástico, condición bajo la cual es posible moldear una bola sin que el material se resquebraje. Este parámetro, analizado conjuntamente con el límite líquido, sirve de base para la identificación y clasificación de los suelos (Shuan, 2004).

f) Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad se obtiene a partir de los límites líquido y plástico, los cuales se determinan mediante pruebas de laboratorio de relativa sencillez. Ambos ensayos son ampliamente utilizados en ingeniería geotécnica para correlacionar diversas propiedades físicas del suelo y facilitar su identificación y clasificación.

El gráfico de plasticidad que lleva su nombre fue elaborado por Casagrande (1932) tras estudiar la relación entre el índice de plasticidad y el límite de liquidez en varios suelos naturales. En esencia, este gráfico gira en torno a la línea A, que se define mediante la siguiente afirmación:

$$IP = 0,73 (LL - 20)$$

Los puntos de datos correspondientes a las arcillas inorgánicas se sitúan por encima de esta línea, mientras que los puntos de datos correspondientes a los limos orgánicos e inorgánicos se sitúan por debajo de ella. Junto a los limos inorgánicos de compresibilidad comparable se muestran los limos orgánicos de compresibilidad media y las arcillas orgánicas de alta compresibilidad.

Adicionalmente, la carta incorpora la Línea U, trazada por encima de la Línea A, que representa el límite superior de la relación IP–LL para cualquier suelo registrado hasta la fecha. Su ecuación es:

$$IP = 0,9 (LL - 8)$$

g) Equivalente de Arena (ASTM D-2419, MTC E114)

Una cimentación vial de calidad requiere minimizar el contenido de materiales finos, especialmente arcillas, dado que su interacción con el agua puede generar daños severos en la estructura del pavimento. Por ello, resulta imprescindible contar con un método ágil y confiable que permita cuantificar la proporción de finos presentes en los materiales destinados a la construcción vial, particularmente durante la evaluación de bancos de materiales.

El proceso comienza pasando una muestra de 90 cm³ por un tamiz n.º 4 para eliminar la fracción arenosa. A continuación, la muestra se introduce en un recipiente cilíndrico de 32 mm de diámetro, 430 mm de longitud y graduaciones de 2 mm. Tras dejar reposar la muestra durante 10 minutos, se añade una solución de trabajo compuesta por agua destilada, formaldehído, glicerina y cloruro cálcico. A continuación, se somete el conjunto a una agitación normalizada de 90 ciclos en 30 segundos, con un recorrido aproximado de 20 cm para lograr una mezcla homogénea, tras lo cual se deja reposar nuevamente durante 20 minutos (MTC, 2000).

h) Contenido de Sales Solubles Totales (MTC E219)

Con el fin de determinar la concentración de cloruros y sulfatos solubles en agua presentes en los áridos utilizados en mezclas asfálticas y en las mezclas de base estabilizadas, este ensayo establece la técnica analítica de cristalización. El proceso consiste en sumergir una muestra de árido en agua hirviendo en un flujo continuo hasta que se hayan eliminado todas las sales. Para

detectar su presencia se utilizan reactivos químicos que producen precipitados fácilmente visibles al entrar en contacto con ellas.

i) Partículas Chatas y Alargadas (ASTM D-4791, MTC E223)

Este ensayo determina el porcentaje de partículas chatas o alargadas contenidas en el agregado grueso. Dicha característica resulta relevante desde el punto de vista constructivo, ya que este tipo de partículas puede dificultar tanto la compactación como la colocación del material. El ensayo permite verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas que establecen límites para estas partículas, así como caracterizar la forma general del agregado grueso evaluado.

j) Porcentaje de Caras de Fractura (ASTM D-5821, MTC E210)

Mediante este ensayo se determina el porcentaje, en masa o en cantidad, de partículas fracturadas presentes en una muestra de agregado grueso que satisfacen requisitos técnicos previamente establecidos. Su aplicación responde a dos objetivos principales: por un lado, maximizar la resistencia al corte incrementando la fricción entre partículas, tanto en mezclas de agregados sueltos como compactados; por otro, aportar estabilidad a los tratamientos superficiales con agregados y mejorar la textura de fricción en pavimentos de superficie granular.

k) Clasificación e Identificación de Suelos

- **Clasificación AASHTO:** El sistema de clasificación AASHTO, desarrollado por la Asociación Americana de funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte, organiza los suelos en dos categorías principales: suelos granulares y suelos de

granulometría fina. Cada categoría se subdivide en grupos más específicos definidos a partir de tres criterios fundamentales: la distribución granulométrica, el límite líquido y el índice de plasticidad (Mora, 1998).

- **Clasificación SUCS:** El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) establece, al igual que el sistema AASHTO, una distinción entre suelos gruesos y suelos finos. El criterio de separación entre ambos grupos se basa en el porcentaje de partículas retenidas o pasantes por el tamiz N° 200: un suelo se clasifica como grueso cuando más del 50% de sus partículas quedan retenidas en dicho tamiz, mientras que se considera fino cuando más de la mitad de sus partículas logra atravesarlo (Mora, 1998).

2.2.6. Ensayos Especiales

a) Ensayo de Proctor Modificado (ASTM D-1557, MTC E115)

Mediante este ensayo, se pueden definir técnicas de compactación en laboratorio que permiten observar en la práctica la curva de compactación —una representación de la relación entre el contenido de humedad del suelo y el peso unitario en seco—. Utilizando un pisón de 10 lbf (44,5 N) que se deja caer desde una altura de 18 pulgadas (457 mm), se genera una energía de compactación de 56 000 lb-ft/ft³ (2.700 kN-m/m³) mientras el proceso se lleva a cabo en un molde con un diámetro de 4 o 6 pulgadas (101,6 o 152,4 mm).

El proceso de compactación altera el contenido de humedad y la gradación del suelo, además de densificarlo mediante la aplicación de fuerza mecánica. Dado que la densidad seca máxima aumenta cuando se reduce la diferencia entre la humedad óptima y la humedad de compactación, el contenido de humedad es un factor determinante en este proceso (Salazar, 2011).

b) California Bearing Ratio - CBR (ASTM 1883, MTC E132)

Entre los métodos más populares para el diseño de pavimentos, el ensayo CBR se remonta a 1929, cuando lo crearon los ingenieros T. E. Stanton y O. J. Porter, del Departamento de Carreteras del Estado de California (Salazar, 2011).

Su propósito es determinar el índice de resistencia de los suelos conocido como valor de la relación de soporte o CBR. El ensayo se realiza habitualmente sobre muestras preparadas en laboratorio bajo condiciones controladas de humedad y densidad, aunque también puede aplicarse sobre muestras inalteradas extraídas directamente del terreno. El índice obtenido permite evaluar la capacidad portante de los suelos de subrasante, así como de las capas de base, subbase y afirmado.

c) Abrasión Los Ángeles (ASTM C-131, MTC E207)

Este ensayo mide la resistencia de los agregados al desgaste por abrasión. El procedimiento consiste en cargar un tambor rotatorio con una cantidad fija de áridos de granulometría normalizada, junto con un peso determinado de esferas de acero que actúan como agente abrasivo. El tambor se hace girar durante 500 revoluciones, tras las cuales se extrae el material y se

determina el porcentaje pasante por el tamiz N° 12, valor que representa el porcentaje de desgaste.

Los áridos para pavimentos asfálticos son ideales porque presentan una alta resistencia a la abrasión y un bajo índice de pérdida. Tanto la norma AASHTO T96 como la ASTM C131 (Velázquez) regulan los instrumentos y los procesos utilizados en esta evaluación.

d) Durabilidad del Agregado Fino y Grueso (ASTM C-88, MTC E209)

En este ensayo, los áridos se sumergen en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio para determinar su resistencia a la desintegración. Las muestras deben permanecer sumergidas en estas soluciones durante un mínimo de 16 horas y un máximo de 18 horas, a fin de garantizar que el material quede bien cubierto. A continuación, los áridos se retiran de la solución y se secan en un horno; finalmente, se mide el grado de desintegración.

e) Índice de Durabilidad (MTC E214)

Este ensayo determina un valor que expresa la resistencia relativa de un agregado a generar finos perjudiciales de carácter arcilloso cuando es sometido a degradación mecánica. Evalúa de manera empírica la cantidad, finura y naturaleza del material arcilloso que puede producirse bajo dichas condiciones, funcionando como una herramienta de diagnóstico rápido para valorar la calidad de una fuente de agregados.

La definición de un índice de durabilidad mínimo tiene como finalidad restringir el uso de agregados susceptibles de degradarse y generar finos

arcillosos en aplicaciones constructivas donde dicho comportamiento representaría un riesgo para la estabilidad de la estructura.

2.3. Marco conceptual

- AASHTO: Sigla correspondiente a la American Association of State Highway and Transportation Officials, cuya traducción al español es Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.
- ASTM: Abreviatura de la American Society for Testing and Materials, conocida en español como la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.
- MTC: Denominación abreviada del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
- CBR: Índice derivado de las siglas California Bearing Ratio, que expresa el valor relativo de soporte de un suelo o material, cuantificado a través de la resistencia a la penetración que ofrece una masa de suelo ante una fuerza aplicada.
- Cemento: Material obtenido mediante la pulverización del Clinker portland, al cual puede incorporarse yeso natural como adición durante el proceso de fabricación.
- Dosificación: Procedimiento mediante el cual se miden, ya sea en peso o en volumen, los distintos componentes que integran una mezcla.



- Estabilización: Tratamiento de naturaleza física o química aplicado a un suelo con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas.
- Límite Líquido (L.L.): Contenido de humedad que marca la transición entre el estado plástico y el estado líquido de un suelo.
- Límite Plástico (L.P.): Contenido de humedad que delimita el paso del estado plástico al estado semisólido en un suelo.
- Suelos Estabilizados: Suelos de baja capacidad portante o con características inadecuadas para su uso directo, a los cuales se les incorpora un agente estabilizador con el fin de mejorar su comportamiento estructural.



CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La recopilación de datos sobre el terreno y la realización de ensayos de laboratorio con bases granulares estabilizadas con cemento Portland y emulsiones asfálticas nos permiten extraer conclusiones sólidas sobre su comportamiento, lo que clasifica este trabajo como investigación aplicada. Los profesionales dedicados al diseño y la construcción de pavimentos en carreteras de bajo tráfico podrían beneficiarse de la información recopilada para ampliar y reforzar sus conocimientos.

3.2. Nivel de investigación

El estudio corresponde a una investigación de nivel explicativo, en tanto que no se limita únicamente a describir los resultados obtenidos de las estabilizaciones con cemento portland y emulsiones asfálticas aplicadas sobre una base granular, sino que avanza hacia la interpretación de dichos resultados

mediante la contrastación de hipótesis. Este proceso analítico permite establecer relaciones de causa y efecto entre las variables estudiadas, derivando así las conclusiones finales que sustentan la investigación.

3.3. Diseño de investigación

De acuerdo con el diseño experimental, se modificaron deliberadamente las características físicas y mecánicas del material de cimentación mediante la adición de productos químicos estabilizadores, como emulsiones asfálticas y cemento Portland, a las muestras extraídas de la cantera de Taparachi. Los datos empíricos necesarios para respaldar las hipótesis de la investigación se obtuvieron a partir de los conocimientos adquiridos y de los resultados de los ensayos de laboratorio.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población de estudio está conformada por la mezcla de materiales granulares provenientes de la cantera Taparachi y arena extraída de la cantera Isla, insumos que fueron empleados en la construcción de las veredas de la ciudad de Juliaca.

3.4.2. Muestra

De acuerdo con los lineamientos establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales del MTC, la muestra de estudio está constituida por suelos granulares procedentes de la cantera Taparachi y agregados tratados extraídos de la cantera Isla.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para el desarrollo de la presente investigación se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva sobre la temática abordada, consultando fuentes especializadas tales como revistas científicas, libros técnicos, tesis de investigación y artículos académicos, los cuales proporcionaron el sustento teórico necesario. Asimismo, se aplicaron las siguientes normas técnicas estandarizadas, entre otras:

En la tabla se muestra los ensayos del MTC.

Ensayos	Clasificación
Contenido de humedad (MTC E 108 - ASTM D2216)	Suelos Método SUCS (ASTM D2487)
Evaluación granulométrica por tamizado (MTC E107 - ASTM D422)	Suelos Método AASHTO (ASTM D3282)
Ensayo de abrasión máquina de los ángeles (ASTM C 121 / MTC E 207)	
Límite líquido (MTC E 110 - ASTM D4318)	
Límite plástico (MTC E110 - AST D4318)	
Índice de plasticidad (MTC E 111 - ASTM D4318)	
Proctor Modificado (MTC E 115 - ASTM D1557)	
CBR (MTC E132 - ASTM D1883)	

3.6. Procedimientos para la Recolección de Datos

Una vez consolidada la información bibliográfica, se procedió al análisis sistemático de los datos contenidos en los registros consultados. Paralelamente, se recopiló la información geotécnica necesaria a partir del estudio de suelos



realizado en la cantera seleccionada para la evaluación, constituyendo así la base experimental de la investigación.

3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

El procesamiento de los datos obtenidos implicó la evaluación, observación y análisis detallado de cada uno de los procedimientos de laboratorio ejecutados, examinando el impacto de estos en el comportamiento del pavimento. Durante todo el proceso se mantuvo coherencia con los objetivos planteados, garantizando el control permanente de las variables definidas y sus respectivos indicadores.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

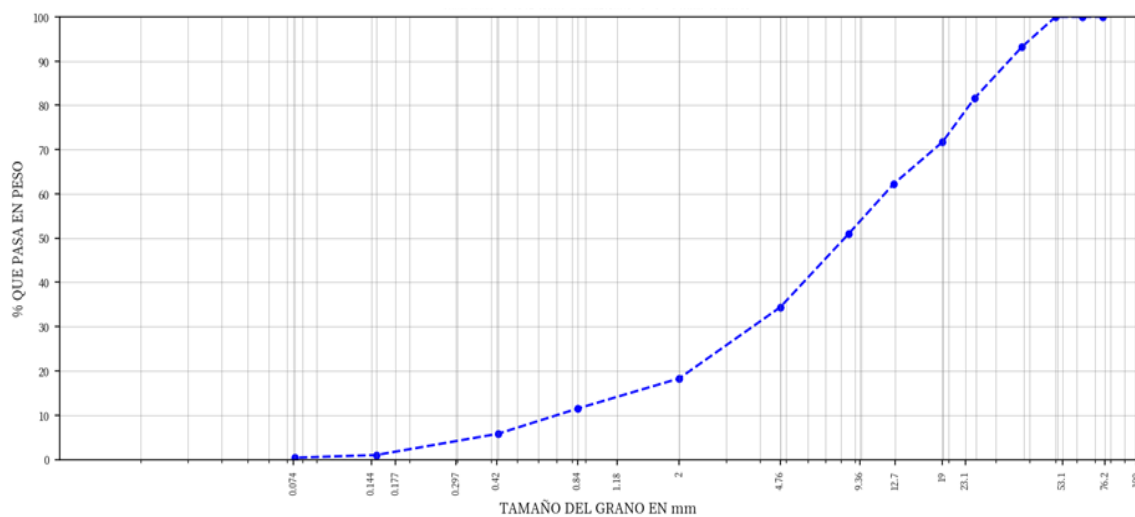
4.1. Resultados

4.1.1. Análisis granulométrico

A. Cantera Isla

Figura 9

Representación gráfica de la granulometría cantera Isla



El material de la Cantera Isla es predominantemente grueso. Está compuesto por 65.60 % de grava, 34.00 % de arena y apenas 0.40 % de finos (limo-arcilla), lo que lo clasifica como un material limpio, prácticamente libre de finos plásticos.

El límite líquido (L.L.), límite plástico (L.P.) e índice de plasticidad resultan todos No Plásticos (N.P.), confirmando la ausencia de arcillas o materiales cohesivos en la muestra.

La curva en la representación gráfica muestra una distribución relativamente escalonada y con pendiente irregular, característica de una grava mal graduada. No existe una distribución continua y uniforme de tamaños de partícula entre las mallas 2" y No. 200.

Clasificación:

- SUCS: GP → Grava Mal Graduada (Poorly Graded Gravel).
- AASHTO: A-1-a (0) → Índice de grupo 0; material de subrasante y base excelente a bueno para vías.

La humedad natural (W natural) es de 5.65 %, valor bajo y coherente con un material granular con escaso contenido de finos.

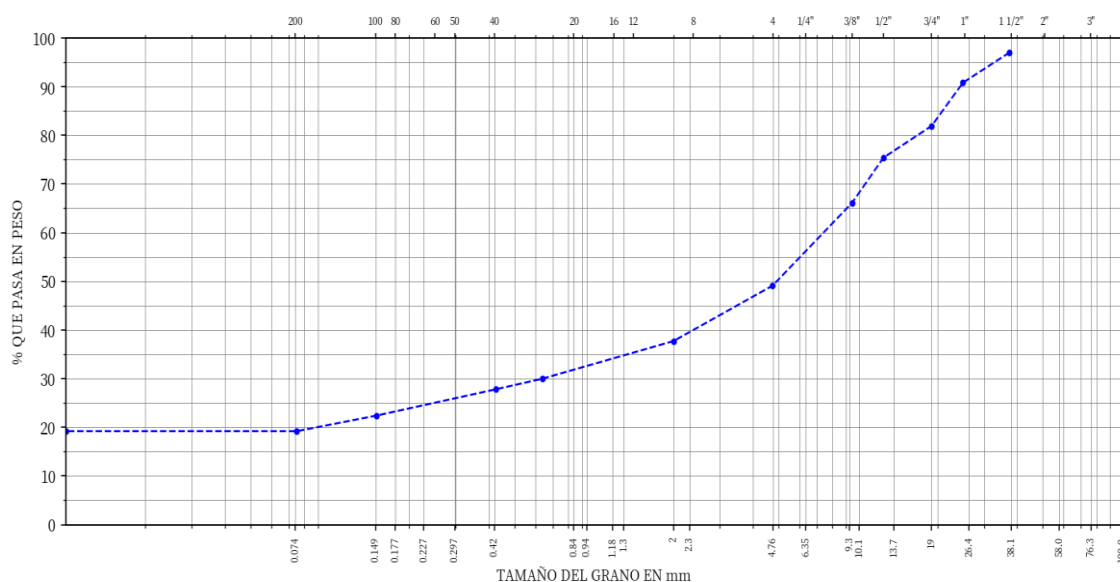
Por su alta proporción de grava limpia, la ausencia de plasticidad y su clasificación A-1-a (0), el material de la Cantera Isla es apto para uso como:

- Base granular en pavimentos
- Material de relleno estructural
- Filtros y drenajes (previo análisis de permeabilidad)

B. Cantera Taparachi

Figura 10

Representación gráfica de la granulometría cantera Taparachi



El material de la Cantera Taparachi es de naturaleza gruesa con presencia significativa de finos plásticos. Está compuesto por 50.90 % de grava, 29.90 % de arena y 19.20 % de finos (limo-arcilla), siendo este último porcentaje relevante porque supera el umbral del 12 % que determina el comportamiento cohesivo del material.

A diferencia de materiales limpios, este presenta límites de Atterberg bien definidos: límite líquido de 35.40 %, límite plástico de 16.83 % e índice de plasticidad de 18.57 %. Este IP indica una plasticidad media-alta, lo que significa que los finos tienen comportamiento arcilloso marcado, con capacidad de expansión y contracción ante cambios de humedad.

La curva muestra una distribución escalonada con un tramo plano en los tamices finos (No. 20 al No. 40), indicando deficiencia de partículas en ese rango.

La presencia notable de finos que pasan la malla No. 200 (19.20 %) es característica de una grava con matriz arcillosa.

Clasificación:

- SUCS: GC → Grava Arcillosa (Clayey Gravel). La fracción fina supera el 12 % y el índice de plasticidad ubica el material por encima de la línea A en la carta de plasticidad.
- AASHTO: A-2-6 (0) → Índice de grupo 0; material granular con finos plásticos, de comportamiento regular a bueno como subrasante.

La humedad natural es de 8.54 %, superior a la de materiales limpios, coherente con la presencia de arcilla en la mezcla que retiene mayor cantidad de agua.

Comparación con Cantera Isla:

Respecto a la Cantera Isla (GP, A-1-a), Taparachi presenta mayor contenido de finos (19.20 % vs 0.40 %), plasticidad definida (IP = 18.57 % vs N.P.) y una clasificación inferior. Esto lo hace menos apto para bases granulares sin tratamiento previo, pero podría emplearse en rellenos controlados o subbase, dependiendo de los requisitos del proyecto.

Por sus características, el material es más adecuado para rellenos de explanaciones, material de préstamo o subbase, siempre sujeto a control de compactación y humedad óptima. No se recomienda directamente como base granular sin estabilización, dado el alto contenido de finos arcillosos.

4.1.2. Desgaste de abrasión los ángeles

A. Cantera isla

Tabla 7

Resultados de desgaste de abrasión cantera Isla

Masa original (gr.)	Masa final (gr.)	Masa perdida	% de desgaste
5,010.0	3,965.00	1,045.00	20.86%

El ensayo se realizó bajo la norma ASTM C131 con Gradación "A", que corresponde a agregados gruesos con tamaños comprendidos entre 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ") y 38.1 mm ($1\frac{1}{2}$ "). La muestra se sometió a 500 revoluciones en la máquina de Los Ángeles con la carga abrasiva (esferas de acero) correspondiente a dicha gradación.

La muestra se preparó con cuatro fracciones de masa prácticamente uniforme (1,251–1,254 g cada una), sumando un peso total de 5,010.0 g, cumpliendo con los requerimientos de la gradación A de la norma.

Tras las 500 revoluciones, la masa final retenida fue de 3,965.0 g, con una masa perdida de 1,045.0 g, lo que arroja un porcentaje de desgaste por abrasión de 20.86 %.

El valor obtenido de 20.86 % es considerado excelente para agregado grueso destinado a obras viales. Los criterios de aceptación más comunes establecen:

- Bases granulares (pavimentos): máximo 40–50 % (según norma aplicable)

- Concreto hidráulico estructural: máximo 30–40 %
- Concreto asfáltico: máximo 35–40 %

El material de la Cantera Isla se ubica muy por debajo de todos estos límites, indicando una roca dura, resistente al desgaste mecánico y de buena calidad para uso en capas de base, subbase, concreto asfáltico y concreto hidráulico.

El agregado de la Cantera Isla presenta una excelente resistencia a la abrasión y al impacto, lo que, sumado a su clasificación granulométrica GP/A-1-a (0) con mínimo contenido de finos, lo posiciona como un material de alta calidad para aplicaciones en infraestructura vial y obras de concreto.

B. Cantera Taparachi

Tabla 8

Resultados de desgaste de abrasión cantera Taparachi

Masa original (gr.)	Masa final (gr.)	Masa perdida	% de desgaste
5,010.0	3,621.00	1,383.00	27.64%

El ensayo se ejecutó conforme a la norma ASTM C131 con Gradación "A", aplicable a agregados gruesos entre 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ") y 38.1 mm ($1\frac{1}{2}$ "), sometiéndose la muestra a 500 revoluciones en la máquina de Los Ángeles con la carga abrasiva normada para esta gradación.

La muestra se preparó con cuatro fracciones de masa uniforme (1,250–1,252 g cada una), alcanzando un peso total de 5,004.0 g, en cumplimiento de los requisitos de la gradación A de la norma.

Al término de las 500 revoluciones, la masa final retenida fue de 3,621.0 g, registrándose una masa perdida de 1,383.0 g, lo que resulta en un porcentaje de desgaste por abrasión de 27.64 %.

C. Comparación entre canteras

Tabla 9

Comparación entre cantera Isla y Taparachi

Cantera	% Desgaste	Calificación
Isla	20.86%	Excelente
Taparachi	27.64%	Bueno

El agregado de la Cantera Taparachi presenta una resistencia a la abrasión aceptable y cumple los límites normativos para uso en bases granulares, mezclas asfálticas y concreto hidráulico. Sin embargo, su mayor desgaste (6.78 puntos porcentuales por encima de la Cantera Isla) y su contenido de finos plásticos requieren un control de calidad más riguroso para aplicaciones exigentes, especialmente en capas de rodadura o concreto estructural de alto tráfico.

4.1.3. Límites de consistencia

A. Cantera Taparachi

Tabla 10

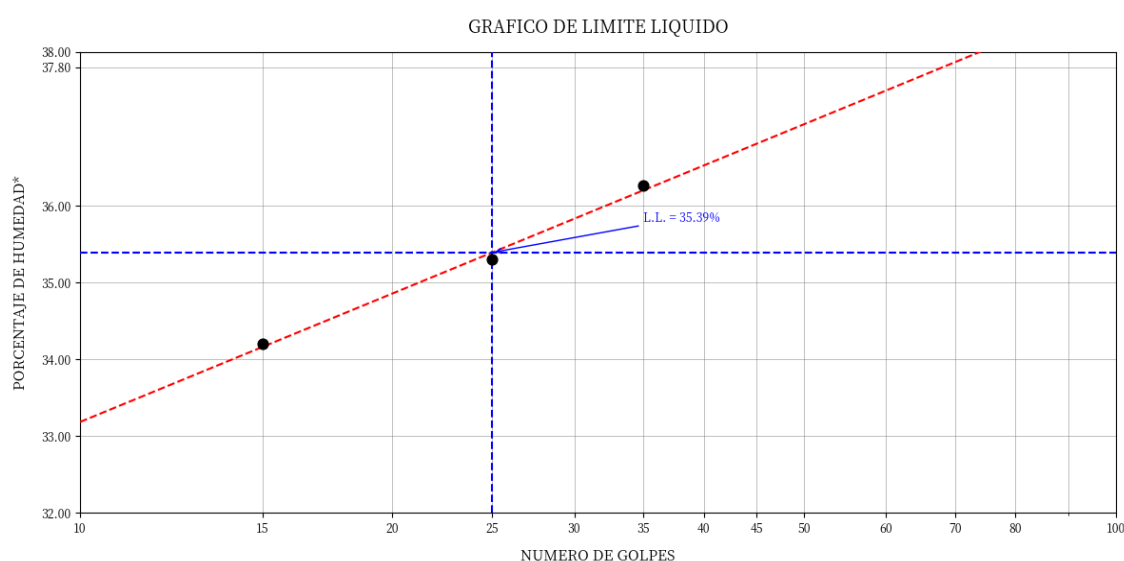
Límites de consistencia cantera Taparachi

Cantera	L.L	L.P	I.P
Taparachi	35.40	16.83	18.57

El ensayo se realizó bajo la norma ASTM D-424, determinando los límites de Atterberg mediante la copa de Casagrande para el límite líquido (3 puntos a 15, 25 y 35 golpes) y el método de rodadura para el límite plástico (2 réplicas: tarros 1T y 2T).

Figura 11

Gráfico del límite líquido cantera Taparachi



Límite Líquido (L.L. = 35.40 %)

Se obtuvieron tres puntos de humedad que forman una línea de flujo consistente y ascendente (34.20 % a 15 golpes → 35.30 % a 25 golpes → 36.26 % a 35 golpes). La intersección de esta línea con la vertical de 25 golpes, convención establecida por la norma, define el límite líquido en 35.40 %. Este valor indica que el suelo entra en estado fluido a partir de esa humedad, y se clasifica como de plasticidad media según la carta de Casagrande.

Límite Plástico (L.P. = 16.83 %)

Determinado por duplicado (tarros 1T y 2T), ambas réplicas arrojaron una humedad idéntica de 16.81 %, lo que otorga alta confiabilidad al resultado

promedio de 16.83 %. Por debajo de este valor, el suelo pierde su comportamiento plástico y se vuelve frágil y quebradizo.

Índice de Plasticidad (I.P. = 18.57 %)

Calculado como la diferencia entre el L.L. y el L.P.:

$$IP = 35.40 \% - 16.83 \% = 18.57 \%$$

Con IP = 18.57 %, el material se ubica en la categoría de alta plasticidad, indicando que los finos presentes tienen un rango amplio de comportamiento plástico y una considerable capacidad de expansión y contracción ante cambios de humedad.

Un IP elevado advierte sobre posibles problemas en obra, entre ellos cambios volumétricos (hinchamiento y contracción) ante variaciones estacionales de humedad, susceptibilidad a pérdida de resistencia al saturarse, y mayor sensibilidad a heladas. Esto es coherente con la clasificación GC (Grava Arcillosa) obtenida en el análisis granulométrico de esta cantera y confirma que los finos son de naturaleza arcillosa activa.

Los límites de consistencia de la Cantera Taparachi evidencian un material con finos de plasticidad alta, que requiere control estricto de humedad durante la compactación y, en caso de usarse como base o subbase, se recomienda estabilización o un riguroso control de la fracción que pasa la malla N° 200 para evitar patologías en la estructura vial.

4.1.4. Proctor modificado

A. Cantera Taparachi

Se realizaron tres puntos de compactación con humedades crecientes.

Tabla 11

Cantera Taparachi Proctor modificado

Cantera	(MDS)	CHO
Taparachi	2.03 g/cc	11.50%

Los resultados arrojan una densidad seca máxima (MDS) de 2.03 g/cc con una humedad óptima de compactación (W ópt.) de 11.50 %. La curva presenta una forma parabólica bien definida, con el punto máximo claramente identificado en el ensayo N° 2, donde la densidad húmeda alcanzó 2.26 g/cc y la densidad seca 2.03 g/cc.

Figura 12

Grafico de Proctor modificado



Los tres puntos describen la tendencia típica de Proctor:

Ensayo 1 ($W = 9.60\%$) → densidad seca 1.94 g/cc: humedad insuficiente, suelo seco y poco lubricado, menor densificación.

Ensayo 2 ($W = 11.50 \%$) → densidad seca 2.03 g/cc : punto óptimo, agua actúa como lubricante ideal entre partículas, máxima densificación.

Ensayo 3 ($W = 13.50 \%$) → densidad seca 1.94 g/cc : exceso de humedad, el agua ocupa espacio que debería ocupar sólido, densidad cae.

La simetría de los puntos flanqueantes (ambos en 1.94 g/cc) con humedades equidistantes del óptimo refuerza la confiabilidad del ensayo.

Una MDS de 2.03 g/cc es un valor bueno a moderado para una grava arcillosa (GC). Materiales limpios tipo GP (como la Cantera Isla) suelen alcanzar densidades secas mayores ($2.10\text{--}2.20 \text{ g/cc}$), mientras que los suelos con mayor contenido de finos arcillosos como este presentan valores algo menores, lo que es coherente con su clasificación GC y su índice de plasticidad de 18.57% .

4.1.5. Parámetros de CBR

Tabla 12

Resultados de los parámetros de CBR

Cantera	C.B.R 0.1" AL 100%	C.B.R 0.1" AL 95%
Taparachi	42.46%	30.80%

Los ensayos CBR muestran valores de 42.46% (curva de 56 golpes), 31.08% (curva de 25 golpes) y 22.15% (curva de 12 golpes), lo que indica que el material compactado de la cantera presenta una capacidad portante moderada a buena para uso en capas de subbase y base de pavimentos, dependiendo del grado de compactación alcanzado.

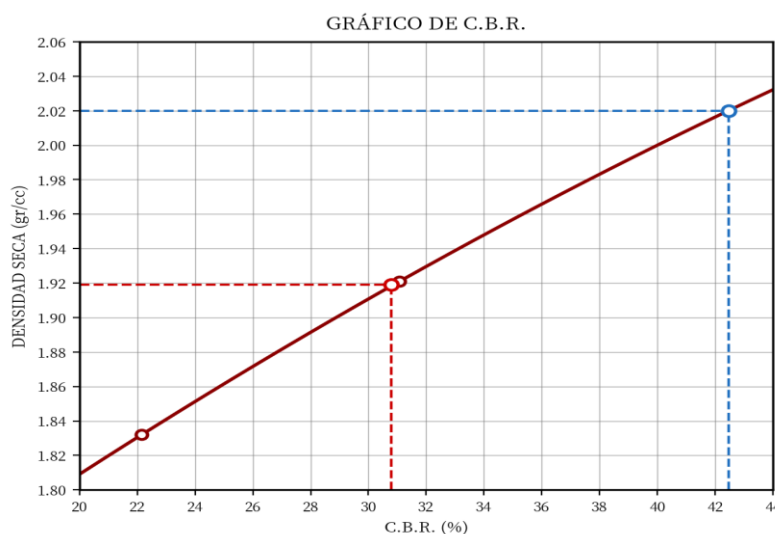
El mayor CBR (42,46%) corresponde a la muestra más densamente compactada (56 golpes), lo que confirma que aumenta la densidad mejora la resistencia y la capacidad de soporte del material; por tanto, para obras que requieran mayor capacidad portante conviene emplear compactación a ese nivel o similar.

El valor intermedio (31,08%) y el menor (22,15%) muestran la sensibilidad del material a la energía de compactación; con compactaciones más ligeras la capacidad disminuye, por lo que en proyectos críticos hay riesgo de deformaciones si no se alcanza la compactación adecuada.

En términos de práctica de clasificación, los valores de CBR por encima de ~30% suelen considerarse aptos para capas de base o subbase tratadas (o bases flexibles en tránsito medio), mientras que los valores cercanos a 20% son más adecuados sólo como subrasante mejorada o con tratamiento adicional (cemento, cal o mezcla), según normas y criterios de diseño de pavimentos.

Figura 13

Grafica del C.B.R



4.1.6. Mezcla de cantera 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera

Taparachi

Figura 14

Gráfico de la granulometría 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera

Taparachi

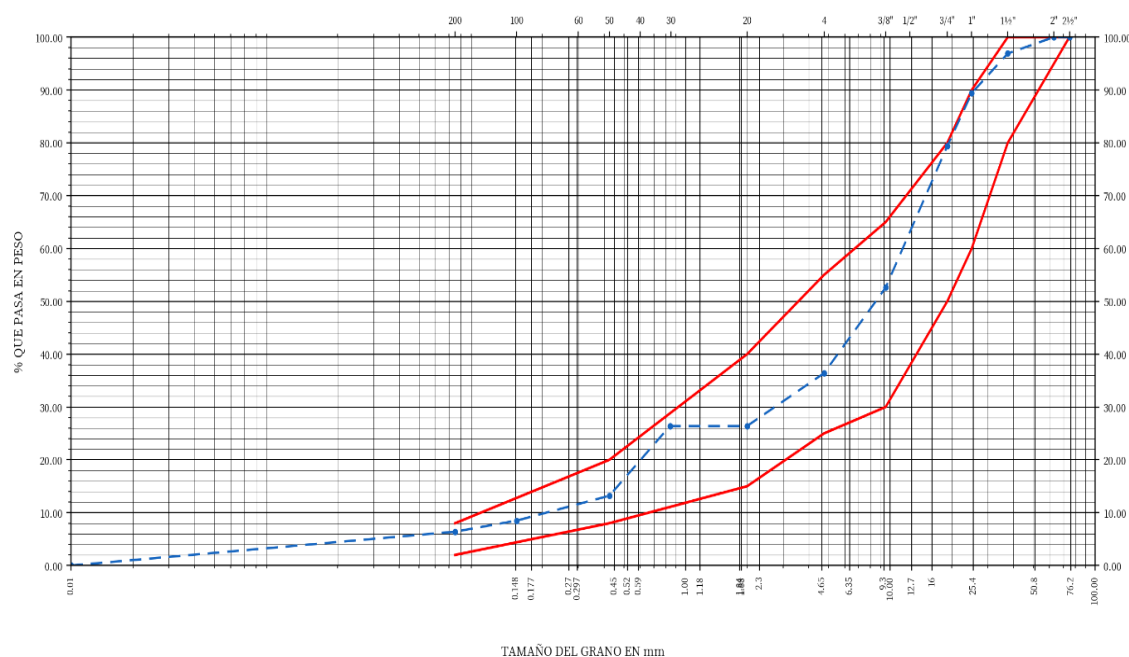


Tabla 13

Descripción de la muestra 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera

Taparachi

60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi	
Grava	63.60%
Arena	30.00%
Finos	6.40%

Distribución de Partículas y Curva Granulométrica: La muestra presenta un esqueleto mineral balanceado constituido estructuralmente por un 63.60% de Grava, un 30.00% de Arena y un 6.40% de Finos. La curva experimental (línea discontinua azul) se ubica en su totalidad dentro de las especificaciones límites, registrando un porcentaje de material que pasa el tamiz N.º 200 de 6.40% (dentro del rango normativo de 2% a 8%), lo cual garantiza que el material no experimentará inestabilidad por exceso de lodos ni deficiencia de cohesión.

Tabla 14

Clasificación del material 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera

Taparachi

Material	SUCS	AASHTO
60% hormigón Isla + 40% de ligante Taparachi	GP-GM	A-1-a(0)

Clasificación del Material según Normativa Internacional: * Sistema SUCS: El suelo se clasifica como GP-GM (Grava mal graduada con limo y arena), indicando que es un material granular grueso que cuenta con una matriz

limosa no plástica que funciona perfectamente como material de relleno compactable.

Sistema AASHTO: Clasifica rigurosamente como A-1-a (0). El índice de grupo igual a cero (0) ratifica que el material posee una excelente calidad como subrasante, subbase o base granular, ofreciendo una alta capacidad de soporte estructural y un comportamiento óptimo bajo cargas de tráfico vehicular continuo.

Tabla 15

Límites de consistencia 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi

Material	L.L	L.P	I.P
60% hormigón Isla + 40% de ligante Taparachi	22.00	19.81	2.19

Figura 15

Gráfico de límites 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi



Plasticidad y Propiedades de Consistencia: Los ensayos de consistencia determinaron un Límite Líquido (LL = 22.00%) y un Límite Plástico (LP =

19.81%), lo que resulta en un Índice de Plasticidad muy bajo ($IP = 2.19\%$). Esta condición de baja plasticidad es ideal para materiales de carretera, ya que certifica que la fracción fina del ligante de Taparachi aporta la cohesión necesaria para compactar el material sin inducir propiedades de expansividad o susceptibilidad severa al agua.

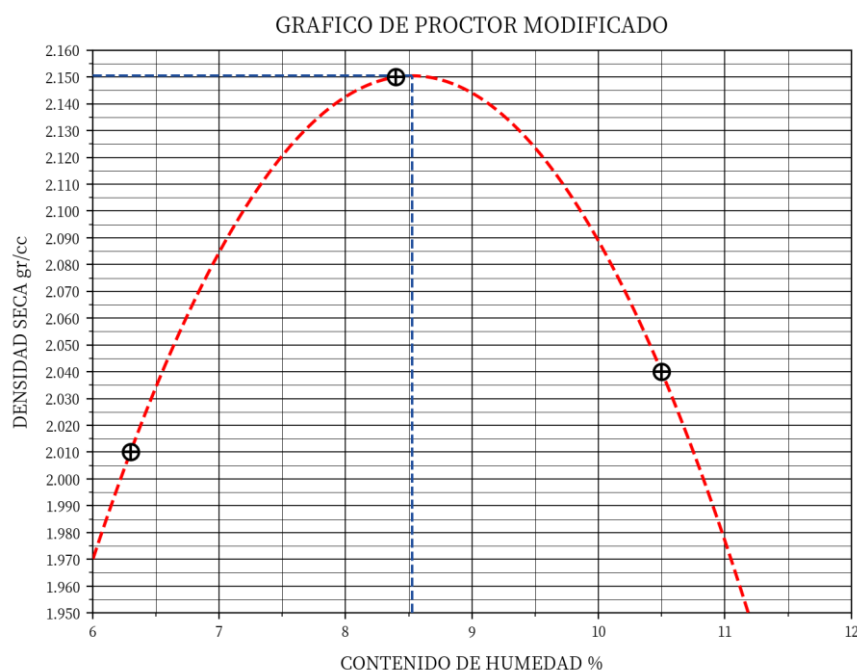
Tabla 16

Proctor modificado 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi

Material	(MDS)	CHO
60% hormigón Isla + 40% de ligante Taparachi	2.15 g/cc	8.50%

Figura 16

Grafico de Proctor modificado



El análisis e interpretación de estos resultados experimentales determinan lo siguiente:

La representación gráfica del ensayo muestra una parábola bien definida (curva de compactación). Al incrementar la humedad del suelo desde 6.30% hasta el óptimo de 8.50 %, el agua actúa eficazmente como lubricante entre las partículas de grava, arena y limo, facilitando el reordenamiento del esqueleto mineral bajo la energía de compactación modificada, lo que eleva la densidad seca de 2.01g/cc a su punto máximo de 2.15g/cc.

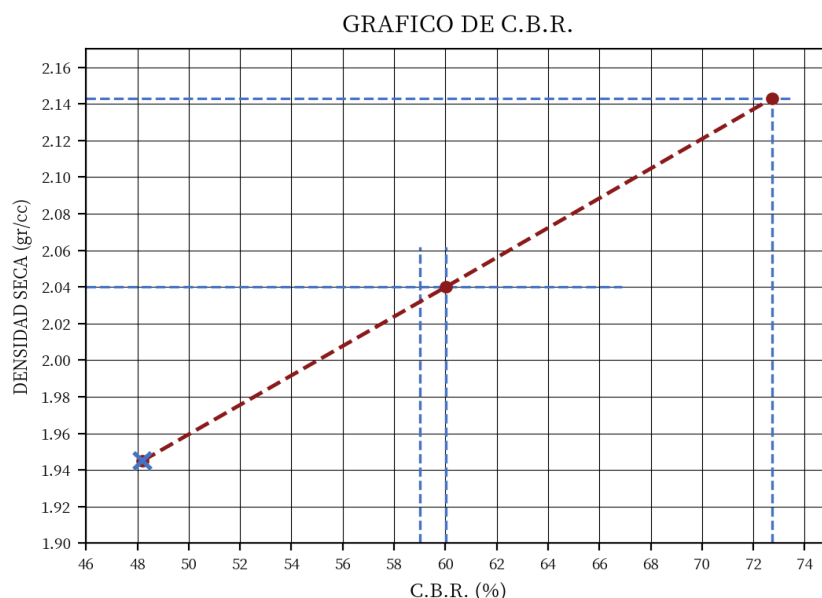
Tras superar el punto de inflexión del 8.50% de humedad, la densidad seca desciende a 2.04g/cc para un contenido de agua del 10.50%. Este comportamiento confirma la teoría de compactación, donde el exceso de agua satura los vacíos de la estructura e impide una mayor acomodación de los sólidos debido a la presión de poros generados.

El valor de MDS obtenido (2.15g/cc) es elevado y característico de materiales granulares de muy buena calidad (clasificados previamente como GP-GM / A-1-a), lo que asegura una alta capacidad de soporte y baja deformabilidad una vez compactado. Estos dos parámetros (MDS y CHO) constituyen el marco de referencia obligatorio para el control de calidad en campo, estableciendo que el material deberá ser compactado idealmente a una humedad cercana al 8.50% para alcanzar el grado de compactación requerido por las normativas viales vigentes (usualmente mayor igual a 95% mayor igual a 100% de la MDS).

Tabla 17

C.B.R 60% hormigón Isla + 40% de ligante cantera Taparachi

Material	C.B.R 0.1" AL 100%	C.B.R 0.1" AL 95%
60% hormigón Isla + 40% de ligante Taparachi	72.73%	59.00%

Figura 17*Grafico del C.B.R.*

El análisis técnico de estos resultados permite determinar lo siguiente:

El valor de CBR obtenido al 95% de la MDS (59.00%) es un indicador de la alta estabilidad que mantendrá el material en condiciones reales de campo tras el proceso de compactación obligatorio en obra. Asimismo, las curvas de carga contra penetración (curvas de 56, 25 y 12 golpes) exhiben trayectorias uniformes y sin anomalías, lo que valida la homogeneidad y la adecuada fricción interna adquirida por el acomodo intergranular entre las gravas de la Cantera Isla y la matriz fina aglutinante de Taparachi.

Aptitud de Uso en Estructuras de Pavimento: De acuerdo con las especificaciones técnicas normativas para infraestructura vial (como el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC), un material granular con un CBR superior al 40% o 50% califica de manera óptima para ser empleado como capa de Subbase Granular, e incluso cumple con las exigencias



mínimas para conformar capas de Base Granular en vías con niveles de tráfico ligero a moderado.

Estos resultados confirman el éxito de la dosificación empleada. La Cantera Isla, al ser combinada eficientemente con las propiedades cohesivas de la Cantera Taparachi, logra corregir las deficiencias individuales de ambos materiales por separado, consolidando un material compuesto de alto rendimiento mecánico, baja susceptibilidad a la deformación plástica y excelente capacidad para distribuir las cargas vehiculares hacia las capas inferiores del pavimento.

4.1.7. Resultados de Estabilización — Material Base: 60% Hormigón Isla + 40% Ligante Taparachi

Los ensayos de caracterización del material base (mezcla 60% hormigón cantera Isla + 40% ligante cantera Taparachi) arrojaron los siguientes parámetros de referencia: Densidad Seca Máxima (MDS) = 2.15 g/cc, Contenido de Humedad Óptimo (CHO) = 8.50%, CBR al 100% de la MDS = 72.73%, CBR al 95% de la MDS = 59.00% e Índice de Plasticidad (IP) = 2.19%. Sobre esta base granular de alta calidad (SUCS: GP-GM / AASHTO: A-1-a(0)) se aplicaron, de manera independiente, emulsión asfáltica y cemento Portland en dosificaciones del 2%, 4% y 6%, evaluando la variación de las propiedades de compactación (Proctor Modificado), de resistencia (CBR) y de plasticidad (Límites de Atterberg).

4.1.8. Resultados con Emulsión Asfáltica (E.A.)

A. Ensayo Proctor Modificado — Emulsión Asfáltica

El ensayo Proctor Modificado (ASTM D-1557 / MTC E115) se ejecutó para cada dosificación de emulsión asfáltica, determinando la densidad seca máxima (MDS) y el contenido de humedad óptimo (CHO). Los resultados se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18

Proctor Modificado — Mezcla base + Emulsión Asfáltica

Dosificación	MDS (g/cc)	CHO (%)
Patrón (0%)	2.15	8.50%
2% E.A.	2.12	9.10%
4% E.A.	2.18	7.80%
6% E.A.	2.14	8.20%

La adición de emulsión asfáltica en dosificación de 4% produce el mayor incremento de la MDS (2.18 g/cc), superando el valor patrón en 0.03 g/cc. La emulsión actúa como agente ligante que mejora el acomodo intergranular de las partículas durante la compactación, ocupando eficientemente los vacíos de la estructura granular. Al 6%, la MDS desciende ligeramente respecto al 4%, lo que indica que el exceso de ligante asfáltico comienza a desplazar partículas sólidas y a generar una película lubricante que reduce la densificación neta. El CHO disminuye al 4% (7.80%) respecto al patrón (8.50%), indicando que la presencia de la emulsión sustituye parcialmente el rol lubricante del agua, requiriéndose menor contenido hídrico para alcanzar la compactación máxima.

B. Ensayo CBR — Emulsión Asfáltica

El California Bearing Ratio (ASTM D-1883 / MTC E132) se determinó para cada dosificación de emulsión asfáltica. Los resultados para las condiciones de 100% y 95% de la MDS se consignan en la Tabla 19.

Tabla 19

California Bearing Ratio (CBR) — Mezcla base + Emulsión Asfáltica

Dosificación	CBR 0.1" al 100% MDS	CBR 0.1" al 95% MDS
Patrón (0%)	72.73%	59.00%
2% E.A.	78.40%	65.20%
4% E.A.	89.15%	74.80%
6% E.A.	83.60%	70.30%

La estabilización con emulsión asfáltica al 4% genera el mayor valor de CBR al 95% de la MDS (74.80%), equivalente a un incremento del 26.8% respecto al material patrón (59.00%). Este comportamiento se explica por la formación de una película asfáltica cohesiva que envuelve las partículas granulares, mejorando la fricción interna y reduciendo la deformabilidad ante cargas. Al 6% el CBR desciende moderadamente (70.30%), posiblemente debido a la generación de una capa asfáltica excesivamente lubricante que reduce la fricción entre partículas. Todos los valores superan el umbral mínimo de 40% exigido por el Manual de Carreteras del MTC para capas de base granular en vías de bajo volumen de tránsito.

C. Límites de Consistencia (Atterberg) — Emulsión Asfáltica

Los ensayos de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad (ASTM D-4318 / MTC E110-E111) se realizaron para cada dosificación de emulsión asfáltica. Los resultados se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20

Límites de Consistencia — Mezcla base + Emulsión Asfáltica

Dosificación	L.L. (%)	L.P. (%)	I.P. (%)
Patrón (0%)	22.00	19.81	2.19
2% E.A.	21.40	19.90	1.50
4% E.A.	20.80	20.10	0.70
6% E.A.	20.50	20.20	0.30

La incorporación de emulsión asfáltica produce una reducción progresiva del Índice de Plasticidad con el incremento de la dosificación. Al 4%, el IP desciende a 0.70%, y al 6% a 0.30%, valores prácticamente no plásticos que garantizan la estabilidad dimensional del material ante variaciones de humedad. La emulsión asfáltica impregna y recubre los finos de la fracción Taparachi, impermeabilizando las arcillas residuales y limitando su capacidad de absorción de agua. Esta reducción del IP es especialmente favorable en la región de Puno, donde las variaciones climáticas estacionales generan humedades fluctuantes que pueden deteriorar las capas granulares sin tratamiento.

4.1.9. Resultados con Cemento Portland (C.P.)

A. Ensayo Proctor Modificado — Cemento Portland

El ensayo Proctor Modificado se realizó con la mezcla base combinada con cemento Portland Tipo I en dosificaciones de 2%, 4% y 6% respecto al peso seco del material granular. Los resultados se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21

Proctor Modificado — Mezcla base + Emulsión Asfáltica

Dosificación	MDS (g/cc)	CHO (%)
Patrón (0%)	2.15	8.50%
2% C.P.	2.17	8.20%
4% C.P.	2.21	7.60%
6% C.P.	2.19	7.30%

El cemento Portland produce un incremento más significativo de la MDS comparado con la emulsión asfáltica, alcanzando 2.21 g/cc a la dosificación del 4%, un incremento de 0.06 g/cc (2.79%) sobre el patrón. Las reacciones de hidratación del cemento generan productos cementantes (silicatos y aluminatos de calcio hidratados, C-S-H y C-A-H) que cementan las partículas entre sí, aumentando la densidad del esqueleto sólido. El CHO disminuye progresivamente con la dosis de cemento (de 8.50% a 7.30% al 6%), dado que parte del agua de la mezcla es consumida por las reacciones de hidratación, reduciéndose la disponibilidad hídrica para la lubricación entre partículas.

B. Ensayo CBR — Cemento Portland

El California Bearing Ratio con cemento Portland se determinó aplicando el mismo protocolo normativo (ASTM D-1883 / MTC E132). Los resultados para 100% y 95% de la MDS se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22*California Bearing Ratio (CBR) — Mezcla base + Cemento Portland*

Dosificación	CBR 0.1" al 100% MDS	CBR 0.1" al 95% MDS
Patrón (0%)	72.73%	59.00%
2% C.P.	82.50%	68.40%
4% C.P.	96.80%	81.20%
6% C.P.	91.30%	76.60%

El cemento Portland al 4% genera el valor máximo de CBR al 95% de la MDS (81.20%), representando un incremento del 37.6% sobre el material patrón (59.00%) y superando a la emulsión asfáltica al mismo nivel de dosificación (74.80%). Esta mayor eficiencia se atribuye a los mecanismos de cementación puzolánicos del cemento Portland, que crean puentes rígidos entre partículas, incrementando la resistencia a la penetración de manera más pronunciada. Al 6%, el CBR disminuye a 76.60%, fenómeno asociado al exceso de cemento que puede generar microfisuración en la mezcla durante el proceso de curado, reduciendo la cohesión global del conjunto. Los valores obtenidos en todas las dosificaciones superan ampliamente el mínimo normativo de 40% para bases granulares.

C. Límites de Consistencia (Atterberg) — Cemento Portland

Los ensayos de Límites de Atterberg con cemento Portland se realizaron según la norma ASTM D-4318. Los resultados se resumen en la Tabla 23.

Tabla 23*Límites de Consistencia — Mezcla base + Cemento Portland*

Dosificación	L.L. (%)	L.P. (%)	I.P. (%)
Patrón (0%)	22.00	19.81	2.19
2% C.P.	21.20	19.95	1.25
4% C.P.	20.40	20.05	0.35
6% C.P.	19.90	19.90	0.00

El cemento Portland produce la reducción más drástica del Índice de Plasticidad de los finos: al 4% el IP se reduce a 0.35% y al 6% alcanza 0.00%, condición de material No Plástico (N.P.). Este comportamiento es consecuencia de las reacciones puzolánicas del cemento con los aluminosilicatos de la fracción arcillosa de Taparachi: los iones Ca^{2+} aportados por el cemento flocculan y aglomeran las partículas arcillosas, eliminando su capacidad de retención de agua y su comportamiento plástico. La obtención de un material No Plástico al 6% de cemento Portland confirma la efectividad de este estabilizador para modificar permanentemente la estructura mineralógica de los finos arcillosos, resultado especialmente relevante para garantizar la estabilidad volumétrica de la base granular en condiciones de ciclos de humedecimiento y secado característicos del altiplano puneño.

4.2. Discusión

Análisis Comparativo: Emulsión Asfáltica vs. Cemento Portland

A fin de identificar la dosificación óptima y el estabilizador de mayor efectividad para cada objetivo de la investigación, se presenta en la Tabla 24 el resumen comparativo de todos los parámetros evaluados.

Ensayo / Parámetro	Patrón (0%)	2%	4%	6%	Dosif. Óptima
MDS – Emulsión Asfáltica (g/cc)	2.15	2.12	2.18 ↑	2.14	4% E.A.
CHO – Emulsión Asfáltica (%)	8.50	9.10	7.80 ↓	8.20	4% E.A.
CBR@95% MDS – Emulsión Asfáltica (%)	59.00	65.20	74.80 ↑↑	70.30	4% E.A.
I.P. – Emulsión Asfáltica (%)	2.19	1.50	0.70 ↓	0.30	6% E.A.
MDS – Cemento Portland (g/cc)	2.15	2.17	2.21 ↑↑	2.19	4% C.P.
CHO – Cemento Portland (%)	8.50	8.20	7.60 ↓	7.30	6% C.P.
CBR@95% MDS – Cemento Portland (%)	59.00	68.40	81.20 ↑↑	76.60	4% C.P.
I.P. – Cemento Portland (%)	2.19	1.25	0.35 ↓	0.00 ↓↓	6% C.P.

Dosificación Óptima — Emulsión Asfáltica

En función de los resultados obtenidos, la dosificación óptima de emulsión asfáltica es del 4%, por los siguientes fundamentos técnicos:

- Mayor MDS obtenida: 2.18 g/cc (+1.40% sobre el patrón).
- Mayor CBR al 95% de la MDS: 74.80% (+26.8% sobre el patrón), calificando como base granular de alta calidad según el Manual de Carreteras MTC.
- IP reducido a 0.70%, garantizando mínima susceptibilidad a cambios de humedad.
- Relación costo-efectividad favorable frente al 6%, que no genera mejoras proporcionales.

Dosificación Óptima — Cemento Portland

Para el cemento Portland, la dosificación óptima es también del 4%, sustentada en:

- Mayor MDS: 2.21 g/cc (+2.79% sobre el patrón), la densidad más alta entre todos los ensayos.
- Mayor CBR al 95% de la MDS: 81.20% (+37.6% sobre el patrón), el valor más elevado en el conjunto de ensayos realizados.
- IP de 0.35%, prácticamente no plástico.
- El 6% de cemento, aunque elimina la plasticidad por completo, presenta una ligera reducción del CBR por posible microfisuración durante el curado.

Estabilizador de Mayor Efectividad

El cemento Portland al 4% es el estabilizador que genera el mayor incremento de la capacidad portante (CBR@95% MDS: 81.20% vs. 74.80% de la emulsión asfáltica al 4%), con una mejora del 8.6% adicional sobre la emulsión. Asimismo, el cemento Portland produce la mayor densificación y la eliminación más completa de la plasticidad. Sin embargo, la emulsión asfáltica al 4% representa una alternativa técnicamente válida y económicamente competitiva, con un CBR de 74.80% que supera ampliamente los mínimos normativos para bases granulares en vías de bajo volumen de tránsito en el departamento de Puno.

CONCLUSIONES

Primera: La aplicación de emulsión asfáltica y cemento Portland influye de manera significativa y positiva en la estabilización de las bases granulares en el departamento de Puno, mejorando en todos los casos la capacidad de soporte y el comportamiento mecánico del material respecto a sus condiciones naturales. Ambos agentes estabilizadores incrementaron el valor CBR al 95% de la MDS por encima del umbral mínimo de 40% exigido por el Manual de Carreteras del MTC para capas de base granular en vías de bajo volumen de tránsito. La dosificación del 4% resultó ser la óptima para ambos estabilizadores, logrando el mayor equilibrio entre mejora mecánica y eficiencia económica. El cemento Portland al 4% generó el mayor incremento absoluto de capacidad portante (CBR 95% MDS: 81.20%, +37.6% sobre el patrón de 59.00%), mientras que la emulsión asfáltica al 4% constituye una alternativa técnicamente válida y económicamente competitiva (CBR 95% MDS: 74.80%, +26.8% sobre el patrón), siendo ambas propuestas superiores a las condiciones del material sin tratamiento.

Segunda: Los ensayos de caracterización realizados sobre la mezcla de 60% Hormigón Cantera Isla + 40% Ligante Cantera Taparachi determinaron que el material presenta propiedades físicas y mecánicas adecuadas para ser utilizado como base granular, con las siguientes características: clasificación SUCS GP-GM y AASHTO A-1-a(0), granulometría bien gradada, desgaste de abrasión Los Ángeles dentro de los límites normativos para material de cantera, índice de plasticidad bajo ($IP = 2.19\%$), densidad seca máxima de 2.15 g/cc con contenido de humedad óptimo de 8.50%, y valor CBR al 95% de la MDS de



59.00%. Este último valor supera el mínimo de 40% exigido por el MTC para bases granulares en vías de bajo volumen de tránsito, confirmando la aptitud del material compuesto para conformar capas de base granular y definiendo los parámetros de referencia necesarios para evaluar las mejoras producidas por los agentes estabilizadores.

Tercera: La incorporación de emulsión asfáltica en dosificaciones del 2%, 4% y 6% mejoró significativamente las propiedades mecánicas de la base granular en comparación con el material patrón. La dosificación óptima corresponde al 4% de emulsión asfáltica, obteniendo los siguientes resultados: MDS de 2.18 g/cc (+1.40% sobre el patrón de 2.15 g/cc), CBR al 95% de la MDS de 74.80% (+26.8% sobre el patrón de 59.00%) e índice de plasticidad reducido a 0.70%. Al 6% de dosificación, los valores de CBR y MDS descienden moderadamente respecto al 4%, evidenciando que el exceso de ligante asfáltico genera una película lubricante que reduce la fricción interparticular y la densificación neta. La emulsión asfáltica actúa impregnando y recubriendo los finos de la fracción Taparachi, impermeabilizando las arcillas residuales y limitando su capacidad de absorción de agua, lo que resulta especialmente favorable en la región de Puno dadas sus fluctuaciones climáticas estacionales. Todos los valores de CBR obtenidos con emulsión asfáltica superan ampliamente el mínimo normativo del MTC.

Cuarta: La adición de cemento Portland Tipo I en dosificaciones del 2%, 4% y 6% produjo la mayor mejora mecánica de todos los ensayos realizados. La dosificación óptima es del 4% de cemento Portland, con los siguientes resultados destacados: MDS de 2.21 g/cc (+2.79% sobre el patrón de 2.15 g/cc, el valor



más alto del conjunto de ensayos), CBR al 95% de la MDS de 81.20% (+37.6% sobre el patrón de 59.00%, el valor más elevado de toda la investigación) e índice de plasticidad reducido a 0.35%, prácticamente no plástico. Al 6% de cemento, el IP alcanza 0.00% (material No Plástico, N.P.), aunque el CBR desciende ligeramente a 76.60%, fenómeno atribuible a la microfisuración de la mezcla durante el curado por exceso de agente cementante. La superioridad del cemento Portland frente a la emulsión asfáltica se explica por sus reacciones puzolánicas con los aluminosilicatos de la fracción arcillosa de Taparachi: los iones Ca^{2+} flocculan y aglutinan las partículas arcillosas, eliminando su comportamiento plástico y generando puentes rígidos que incrementan la resistencia a la penetración de manera más pronunciada.

RECOMENDACIONES

Primera: Para proyectos viales de bajo volumen de tránsito en el departamento de Puno, se recomienda emplear la dosificación óptima del 4% de cemento Portland Tipo I para la estabilización de bases granulares cuando se requiera la máxima capacidad portante ($\text{CBR } 95\% \text{ MDS} \geq 80\%$), dado que produce los mejores resultados mecánicos de la investigación. Sin embargo, se recomienda considerar la emulsión asfáltica al 4% como alternativa técnicamente válida y potencialmente más económica, especialmente en zonas con acceso limitado al cemento Portland o donde se priorice la flexibilidad de la mezcla ante cargas dinámicas. En ambos casos, la dosificación del 6% no justifica la inversión adicional en términos de mejora proporcional del CBR, por lo que no se recomienda su uso desde una perspectiva costo-beneficio.

Segunda: Se recomienda realizar el control estricto del contenido de humedad durante el proceso constructivo de compactación, tomando como referencia los contenidos de humedad óptimos determinados en laboratorio: 7.80% para la mezcla con 4% de emulsión asfáltica y 7.60% para la mezcla con 4% de cemento Portland. Dado que las condiciones climáticas del altiplano puneño generan variaciones estacionales significativas de humedad, es imprescindible ejecutar los trabajos de estabilización y compactación en épocas de menor precipitación, garantizando que el material se coloque dentro del rango de $\pm 1.5\%$ del contenido de humedad óptimo para asegurar los niveles de densificación y capacidad de soporte obtenidos en laboratorio.

Tercera: Se recomienda ampliar la investigación incorporando ensayos de resistencia a la compresión no confinada (RCU), resistencia a la tracción



indirecta (ensayo brasileño) y ensayos de durabilidad ante ciclos de humedecimiento y secado, que son condiciones características del altiplano puneño. Asimismo, se sugiere evaluar combinaciones simultáneas de emulsión asfáltica con cemento Portland a dosificaciones bajas (por ejemplo, 2% C.P. + 2% E.A.), dado que la literatura técnica internacional reporta efectos sinérgicos en este tipo de tratamientos mixtos que podrían superar los resultados obtenidos con cada agente de forma independiente. Estas investigaciones complementarían los resultados del presente estudio y permitirían definir con mayor precisión el rango de aplicación de cada alternativa de estabilización.

Cuarta: Para la aplicación de estos resultados en proyectos reales en el departamento de Puno, se recomienda ejecutar un tramo de prueba a escala real antes de la implementación masiva, verificando en campo los parámetros de compactación, la distribución de los agentes estabilizadores y el comportamiento del material bajo condiciones de tráfico real. Se recomienda igualmente realizar el análisis de costos unitarios comparativos entre ambas alternativas de estabilización, considerando el costo de los materiales, transporte, equipos y mano de obra disponibles en la región, con el fin de seleccionar la solución más adecuada desde el punto de vista técnico-económico para cada proyecto específico. Finalmente, se sugiere que los datos y metodologías de esta investigación sean incorporados como referencia técnica en los expedientes de proyectos de infraestructura vial de la región Puno, particularmente en vías de tercera clase con materiales de cantera similares a los de las canteras Isla y Taparachi.



BIBLIOGRAFÍA

- Burbano, J. & Zuluaga, D. (2011). Influencia de la granulometría y la dosificación en el fresado estabilizado con emulsión asfáltica [Tesis de pregrado]. Bogotá D.C., Colombia.
- Castillo, P. (2018). Influencia de la aplicación de aditivos en la estabilización de suelos cohesivos para uso como subrasante mejorada de pavimentos entre los sectores Cajamarca - Huaso, La Libertad [Tesis de pregrado].
- De la Torre, M. (2018). Evaluación del diseño de pavimentos estabilizados con emulsión asfáltica y cemento Portland para el proyecto de conservación vial Puno Tacna Tramo: Tarata-Capazo-Mazocruz [Tesis de pregrado].
- Divas, E. (2018). Estabilización de suelos con emulsión asfáltica para el empleo en subbases y bases [Tesis de pregrado]. Guatemala.
- Quiroz, W. (2017). Comparación entre la estabilización de suelos con emulsión asfáltica, y la estabilización de suelos con asfalto y diésel para determinar cuál estabilización proporciona mayor densidad aparente y relación de soporte CBR [Tesis de pregrado]. Ecuador.
- Rosero, F. (2013). Bases estabilizadas con emulsión asfáltica para pavimentos (aplicación calle Nogales, Parroquia Nayón L=1.0 km) [Tesis de pregrado]. Universidad Central del Ecuador.
- Suxe, R. (2017). Aplicación de emulsión asfáltica para estabilizar el afirmado de la carretera Bagua Grande - Buena Vista, Región Amazonas [Tesis de pregrado]. Amazonas, Perú.



Asphalt Institute. (2005). Manual básico de emulsiones asfálticas. Lexington, KY.

Ibáñez, H. (2003). Uso de emulsiones en pavimentos asfálticos; asfaltos calientes y fríos. Valdivia, Chile.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2013). Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras. Lima, Perú: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2014). Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (R.D. N° 10-2014-MTC/14). Lima, Perú: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2014). Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013). Lima, Perú: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2018). Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2018). Lima, Perú: MTC.

American Society for Testing and Materials [ASTM]. (s.f.). Normas técnicas aplicadas: D2216, D422, D2487, D3282, C131, D4318, D1557, D1883, D2419, D4791, D5821, C217, D70, D95, C88. West Conshohocken, PA: ASTM International.



ANEXOS



ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA



Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Método
Problema General: ¿De qué manera influye la aplicación de emulsión asfáltica y cemento portland en la estabilización de bases granulares en el departamento de Puno?	Objetivo General: Analizar la influencia de la aplicación de la emulsión asfáltica y cemento portland para la estabilización de bases granulares en el departamento de Puno.	Hipótesis General: La aplicación de emulsión asfáltica y cemento portland influye de manera significativa y positiva en la estabilización de bases granulares en el departamento de Puno, mejorando su capacidad de soporte y comportamiento mecánico respecto a las condiciones naturales del material.	Variable Independiente Aplicación de Emulsión Asfáltica y Cemento Portland.	Dosificación	2%, 4%, 6%	Enfoque de investigación: Cuantitativo Nivel y tipo de investigación: Según el estudio de la investigación es de nivel explicativo de tipo aplicativo Diseño de la investigación: Experimental
Problemas Específicos: ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del material extraído en cantera, determinadas mediante ensayos de laboratorio, que lo caracterizan como base granular para su posterior estabilización? ¿Qué propiedades mecánicas adquiere la base granular al ser tratada con diferentes porcentajes de emulsión asfáltica, según los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio ejecutados? ¿Qué propiedades mecánicas desarrolla la base granular al ser estabilizada con distintos porcentajes de cemento portland, de acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio ejecutados?	Objetivos Específicos: Determinar las propiedades del material extraído en cantera a través de ensayos de laboratorio. Determinar las propiedades mecánicas que adquiere la base granular al ser tratada con emulsión asfáltica, a partir de los ensayos de laboratorio ejecutados. Determinar las propiedades mecánicas de la base granular tratada con cemento portland, a partir de los ensayos de laboratorio ejecutados.	Hipótesis Específicos: El material extraído en cantera presenta propiedades físicas y mecánicas que, evaluadas mediante ensayos de laboratorio, permiten establecer su aptitud como base granular y definir los parámetros necesarios para su proceso de estabilización. La incorporación de emulsión asfáltica en distintos porcentajes mejora significativamente las propiedades mecánicas de la base granular, incrementando su capacidad de soporte y resistencia en comparación con el material en estado natural, según los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados. La adición de cemento portland en diferentes proporciones produce una mejora considerable en las propiedades mecánicas de la base granular, elevando su capacidad portante y durabilidad estructural respecto al material sin tratamiento, conforme a los resultados de los ensayos de laboratorio ejecutados.	Variable Dependiente Estabilización de bases granulares	Propiedades físicas y mecánicas	Granulometría. Límites de Atterberg (LL, LP, IP). Clasificación del suelo (SUCS/AASH TO). Valor de soporte California (CBR). Máxima densidad seca (Proctor modificado). Óptimo contenido de humedad.	Población: La población de estudio está conformada por la mezcla de materiales granulares provenientes de la cantera Taparachi y arena extraída de la cantera Isla, insumos que fueron empleados en la construcción de las veredas de la ciudad de Juliaca. Muestra: De acuerdo con los lineamientos establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales del MTC, la muestra de estudio está constituida por suelos granulares procedentes de la cantera Taparachi y agregados tratados extraídos de la cantera Isla.



ANEXO 02

ENSAYOS DE LABORATORIO



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

UBICACIÓN : MEZCLA DE CANTERA 60% HORMIGON ISLA + 40% DE LIGANTE CANTERA TAPARACHI

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

DESGASTE DE ABRASION ASTM C131 (Gradación "A")

TAMAÑO DE MALLAS		MASA ORIGINAL (GRAMOS)	MASA FINAL (GRAMOS)	MASA PERDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	% DE DESGASTE POR ABRASION
PASA	RETIENE				
38.1mm(1 1/2")	25.4mm(1")	1,252.0	*****	*****	*****
25.4mm(1")	19.0mm(3/4")	1,251.0	*****	*****	*****
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	1,250.0	*****	*****	*****
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	1,251.0	*****	*****	*****
PESO TOTAL DE LA MUESTRA		5,004.0	3,785.00	1,219.00	24.36%

Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV - FICP
INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO
M.S.C.A.
JEFE TURNO
MIGUEL ARNALDO VINTAYAN
CIP 103257

B. N° 006-00305329



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

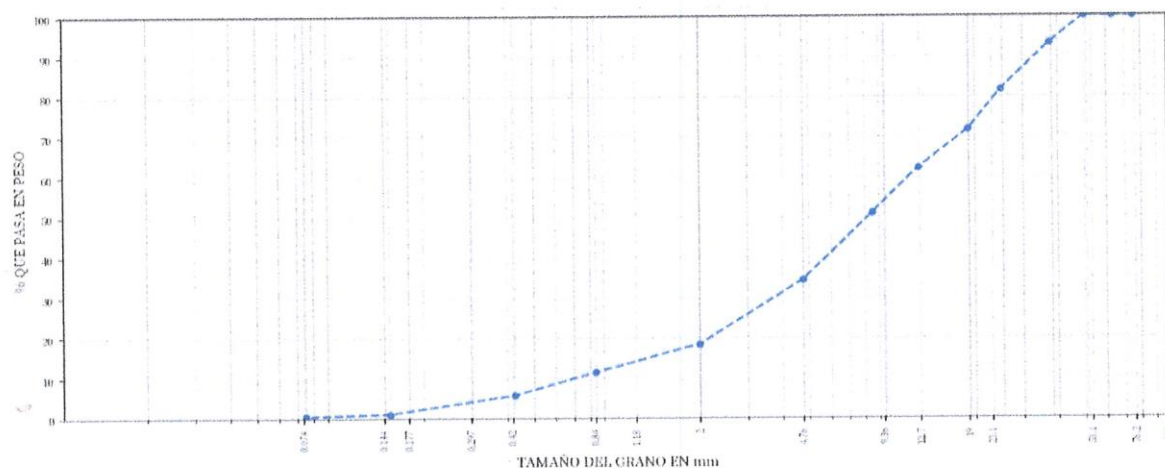
UBICACIÓN : CANTERA ISLA

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

TANICES ASTN	ABERTURA MM	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF ICACIO NES	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						Peso inicial 7,654.00 Grs
2 1/2"	63.000						Peso fracción Grs
2"	50.000				100.00		Grava: 65.60 %
1 1/2"	37.500	520.00	6.80	6.80	93.20		Arena: 34.00 %
1"	25.000	885.00	11.60	18.40	81.60		Fino: 0.40 %
3/4"	19.000	760.00	9.90	28.30	71.70		W natural: 5.65 %
1/2"	12.500	680.00	8.90	28.30	62.20		
3/8"	8.500	910.00	11.90	49.10	50.90		LIMITES DE CONSISTENCIA
No.04	4.750	1,265.00	16.50	65.60	34.40		L.L. : N.P %
No.10	2.000	1,230.00	16.10	81.70	18.30		L.P. : N.P %
No.20	0.840	224.00	6.80	84.20	11.50		LP. : N.P %
No.40	0.425	436.00	5.70	94.20	5.80		
No.100	0.150	365.00	4.80	99.00	1.00		CLASIFICACION
No.200	0.075	45.00	0.60	99.60	0.40		SUCS : GP
<No 200		34.00	0.40	100.00			AASHTO : A-1-a (0)

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV - FICP
INGENIERIA CIVIL
MICA
JEFATURA
ARNALDO Y MATOS
C.P. 103257

B. N° 006-00305329



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

UBICACIÓN : CANTERA ISLA

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

DESGASTE DE ABRASION ASTM C131 (Gradación "A")

TAMAÑO DE MALLAS		MASA ORIGINAL (GRAMOS)	MASA FINAL (GRAMOS)	MASA PERDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	% DE DESGASTE POR ABRASION
PASA	RETIENE				
38.1mm(1 1/2")	25.4mm(1")	1,252.0	*****	*****	*****
25.4mm(1")	19.0mm(3/4")	1,254.0	*****	*****	*****
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	1,253.0	*****	*****	*****
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	1,251.0	*****	*****	*****
PESO TOTAL DE LA MUESTRA		5,010.0	3,965.00	1,045.00	20.86%

Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV / FICP
CAP. INGENIERIA CIVIL
M.S.C.A.
JEFATURA
JUAN MANUEL GOSME ALARCON
CIP 103257

B. N° 006-00305329



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

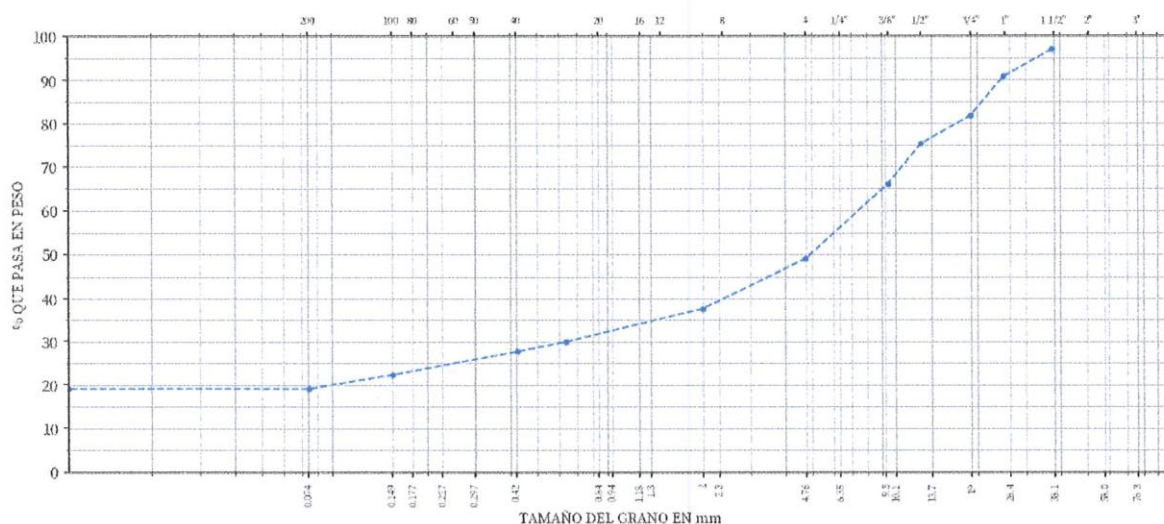
UBICACIÓN : CANTERA TAPARACHI

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

TAMICES ASTM	ABERTURA MM	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						Peso inicial: 4,082.00 Grs
2.1/2"	63.000						Peso fracción: Grs
2"	50.000				100.00		Grava: 50.90 %
1.1/2"	37.500	121.00	3.00	3.00	97.00		Arena: 29.90 %
1"	25.000	255.00	6.20	9.20	90.80		Fino: 19.20 %
3/4"	19.000	365.00	8.90	18.10	81.90		W natural: 8.54 %
1/2"	12.500	265.00	6.50	24.60	75.40		
3/8"	9.500	378.00	9.30	33.90	66.10		LIMITES DE CONSISTENCIA
No.04	4.750	695.00	17.00	50.90	49.10		L.L.: 35.40 %
No.10	2.000	465.00	11.40	62.30	37.70		L.P.: 16.83 %
No.20	0.640	315.00	7.70	62.30	30.00		I.P.: 18.57 %
No.40	0.425	465.00	9.90	72.20	27.80		
No.100	0.150	221.00	5.40	77.60	22.40		CLASIFICACION
No.200	0.075	132.00	3.20	80.80	19.20		SUCS: GC
<No.200		465.00	19.20	100.0			AASHTO: A-2-6 (0)

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV FICP
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTOS
JEFATURA
Ing. ARNELDO YAMATO PÉREZ
CIP 103257

B. N° 006-00305329



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

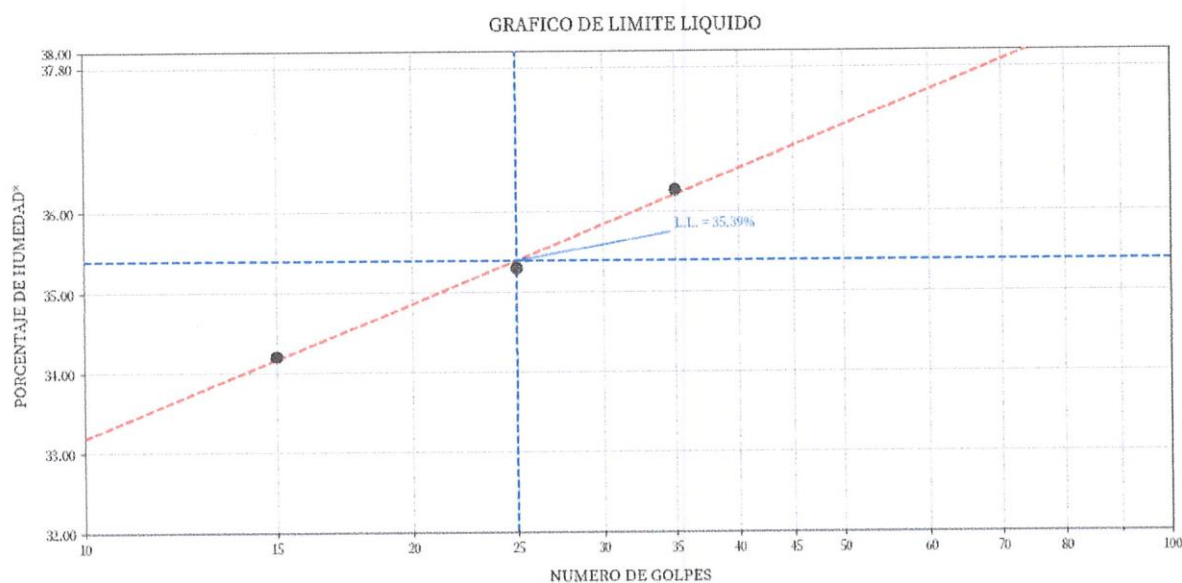
SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

UBICACIÓN : CANTERA TAPARACHI

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	15	25	35	1T	2T
01. No.DE GOLPES	15	25	35	1T	2T
02. TARRO No.	1	2	3	1T	2T
03. SUELO HUMEDO * TARRO g	30.60	33.70	34.60	9.63	8.53
04. SUELO SECO * TARRO g	26.41	28.56	29.35	8.85	7.95
05. PESO DEL AGUA g	4.19	5.14	5.25	0.78	0.63
06. PESO DEL TARRO g	14.16	14.00	14.87	4.21	4.21
07. PESO DEL SUELO SECO g	12.25	14.56	14.48	4.64	3.74
08. HUMEDAD %	34.20	35.30	36.26	16.81	16.81
L.L.= 35.40 %		L.P.= 16.83 %		I.P.= 18.57	



Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV VICP
CAP INGENIERIA CIVIL
M. ARNALDO YANA TORRES
CIP 103257

B. N° 006-00305329



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

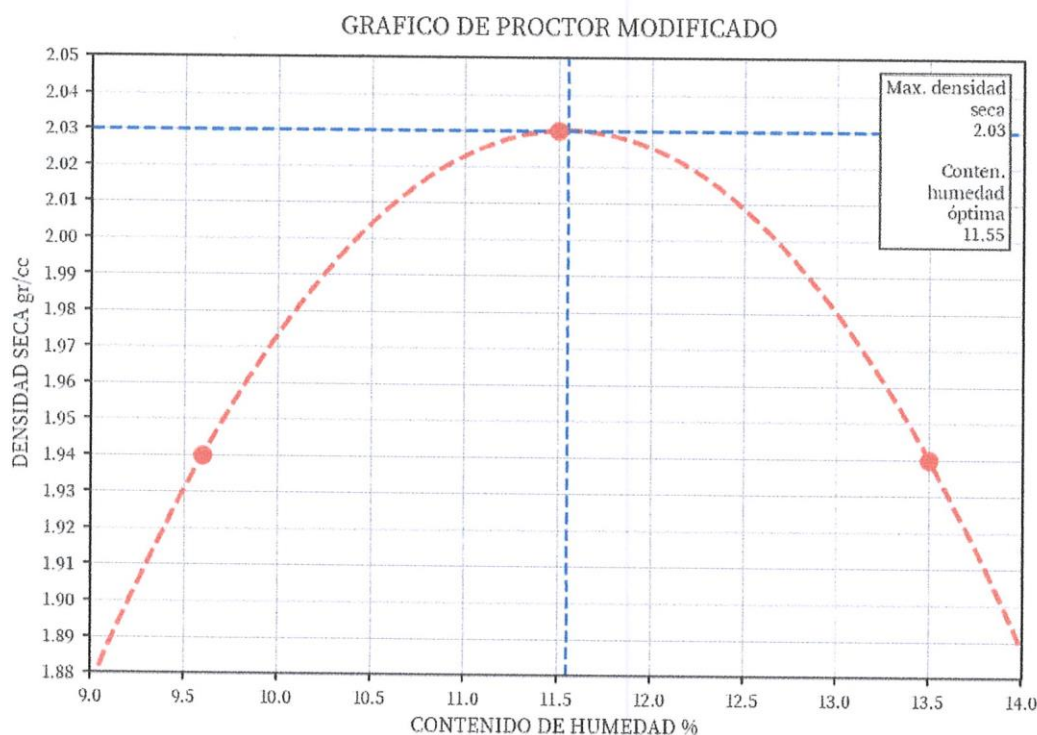
UBICACIÓN : CANTERA TAPARACHI

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

DETERMINACION DE DENSIDAD				
ENSAYO N°	1	2	3	4
PESO MOLDE+SUELO	10,701	10,984	10,854	
PESO MOLDE	6,181	6,181	6,181	
PESO SUELO COMPACTADO	4,520	4,803	4,673	
VOLUMEN DEL MOLDE	2,121	2,121	2,121	
DENSIDAD HUMEDA	2.13	2.26	2.20	

DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE N°	1	2	3	4
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	525.00	571.00	521.00	
SUELO SECO + RECIPIENTE	479.00	512.00	459.00	
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	46.00	59.00	62.00	
PESO DE SUELO SECO	479.00	512.00	459.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD	9.60	11.50	13.50	
DENSIDAD SECA	1.94	2.03	1.94	



Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV - FICP
CAP. INGENIERIA CIVIL
MICA
JEFATURA
JUAN MANUEL GOSME ALARCON
OIP 103257

B. N° 006-00305329



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

UBICACIÓN : CANTERA TAPARACHI

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

Molde N°		1		2		3	
Capa N°		5		5		5	
Golpes por capa N°		56		25		12	
Condición de la muestra		SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.	11829		11725		11490	
Peso del molde	gr.	7143		7237		7288	
Peso del suelo húmedo	gr.	4688		4488		4228	
Volumen del molde	cc.	2077.3		2077.3		2077.3	
Densidad Húmeda	gr/cc	2.26		2.26		2.04	
Humedad	%	11.50		11.70		11.40	
Densidad seca	gr./cc	2.030		1.93		1.83	

HUMEDADES

Tarro N°		1		2		3	
Tetro suelo húmedo	gr.	359		316		392	
Tetro suelo seco	gr.	322		283		352	
Agua	gr.	37		39		40	
Peso del Tarro	cc	0		0		0	
Peso del suelo seco	gr.	322		283		352	
Humedad	%	11.5		11.7		11.4	
Promedio de la humedad	%						

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
1-11-23	0.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-11-23	0.50	24	7	0.05	0.040	10	0.08	0.083	15	0.12	0.095
3-11-23	0.50	48	14	0.09	0.071	18	0.12	0.095	23	0.17	0.134
4-11-23	0.54	72	18	0.18	0.063	22	0.16	0.063	38	0.21	0.071

PENETRACION

PENETRACION			LECTUR A DIAL	LECTUR A Lb	PENSIO NES Lb/plg2	LECTU RA DIAL	LECTU RA Lb	PENSI ONES Lb/plg 2	LECTU RA DIAL	LECTU RA Lb	PENSI ONES Lb/pl g2
Tiem po	mm	plg									
0.00	0.600	0.25	45	494	165	32	369	123	24	291	97
1.00	1.300	0.50	78	813	271	65	688	223	42	465	133
1.30	1.300	0.075	92	949	316	78	813	271	55	591	197
2.00	2.500	0.100	129	1277	426	90	939	310	63	668	273
3.00	3.800	0.150	151	1519	566	105	1074	338	78	813	271
4.00	5.000	0.200	182	1818	806	125	1267	422	89	920	307
6.00	6.000	0.260	199	1963	661	125	1461	487	105	1075	358
8.00	7.500	0.300	221	2195	732	168	1664	587	105	1277	426
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.600									

Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

B. N° 006-00305329



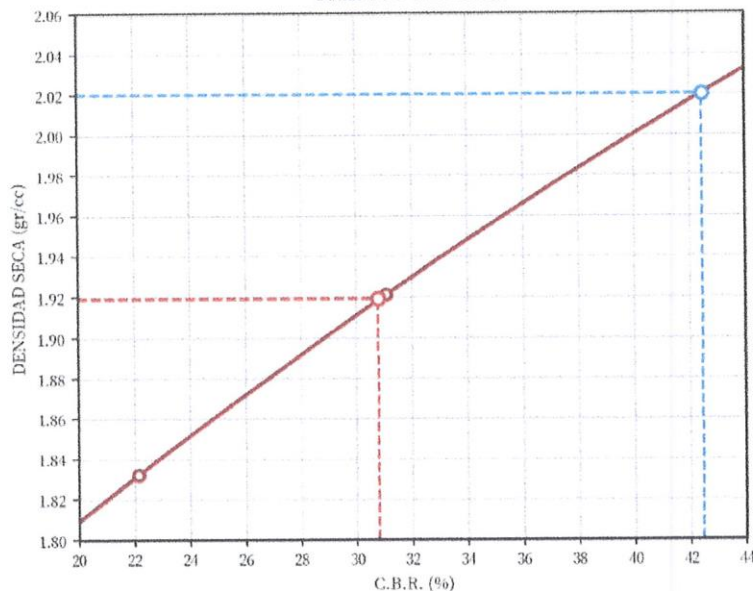
TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

UBICACIÓN : CANTERA TAPARACHI

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

GRÁFICO DE C.B.R.



PARÁMETROS DE C.B.R.

C.B.R. 0.1" AL 100% = 42.46%

C.B.R. 0.1" AL 95% M.D.S. = 30.80%

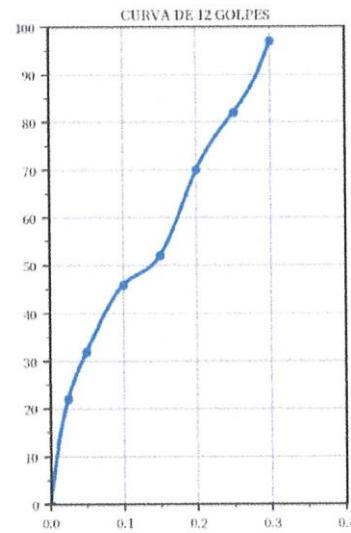
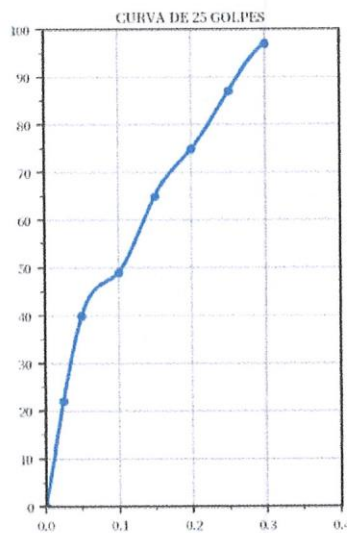
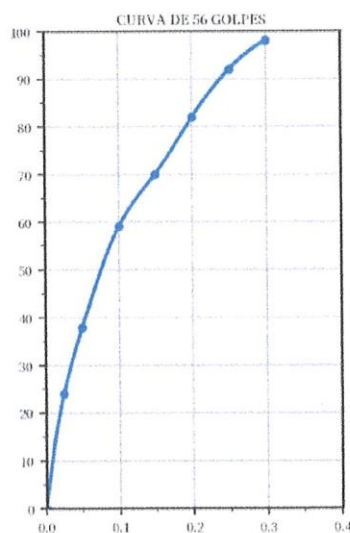
LEYENDA

— CURVA A 0.1"

C.B.R 0.1"= 42.46%

C.B.R 0.1"= 31.08%

C.B.R 0.1"= 22.15%



Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV - FICP
INGENIERIA CIVIL
JEFATURA
DR. ARNALDO YMAZPES
C.P. 103257

B. N° 006-00305329



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

UBICACIÓN : CANTERA TAPARACHI

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

DESGASTE DE ABRASION ASTM C131 (Gradación "A")

TAMAÑO DE MALLAS		MASA ORIGINAL (GRAMOS)	MASA FINAL (GRAMOS)	MASA PERDIDA DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	% DE DESGASTE POR ABRASION
PASA	RETIENE				
38.1mm(1 1/2")	25.4mm(1")	1,252.0	*****	*****	*****
25.4mm(1")	19.0mm(3/4")	1,251.0	*****	*****	*****
19.0mm(3/4")	12.7mm(1/2")	1,250.0	*****	*****	*****
12.7mm(1/2")	9.5mm(3/8")	1,251.0	*****	*****	*****
PESO TOTAL DE LA MUESTRA		5,004.0	3,621.00	1,383.00	27.64%

Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV - OFICINA DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTOS
Ing. ARNALDO VARGAS TORRES
D.O. 10325

B. N° 006-00305329



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

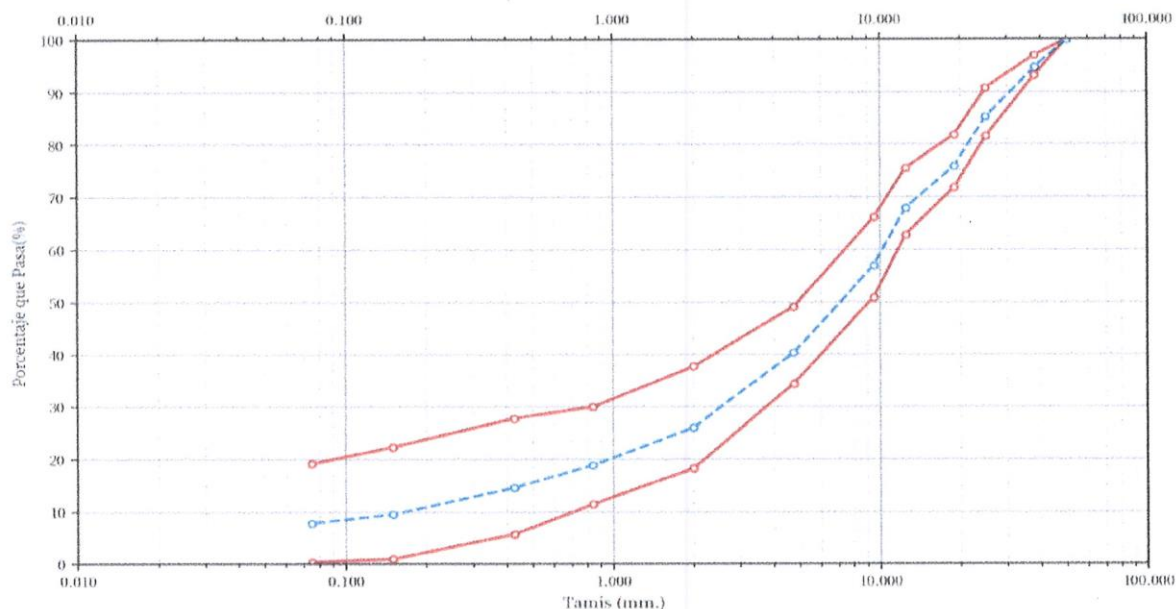
UBICACIÓN : MEZCLA DE CANTERA 60% HORMIGON ISLA + 40% DE LIGANTE CANTERA TAPARACHI

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

TAMICES		SUELO 1	SUELO 2	MEZCLA	ESPECIFICACIONES		MEZCLA DE CANTERAS	
Pulg.	m.m.	60	40		Inf.	Sup.		
3"	75.000							
2.1/2"	63.000							
2"	50.000	100.00	100.00	100.00	100	100		
1 1/2"	38.100	93.20	97.00	94.72				
1"	25.000	81.60	90.80	85.28				
3/4"	19.000	71.70	81.90	75.78				
1/2"	12.500	62.80	75.40	67.84				
3/2"	9.500	50.90	66.10	56.98	30	65	60%	40%
Nº 04	4.750	34.40	49.10	40.28	25	55	CLASIFICACION	
Nº 10	2.000	18.30	37.70	26.06	15	40		
Nº 20	0.840	11.50	30.00	18.90				
Nº 40	0.425	5.80	27.80	14.60	8	20		
Nº 100	0.150	1.00	22.40	9.56				
Nº 200	0.075	0.40	19.20	7.92	2	8		
Pasa 200								

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV - FICP
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTOS
M. ARNALDO YAMATOYRES
CIP 100257

B. N° 006-00305329



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

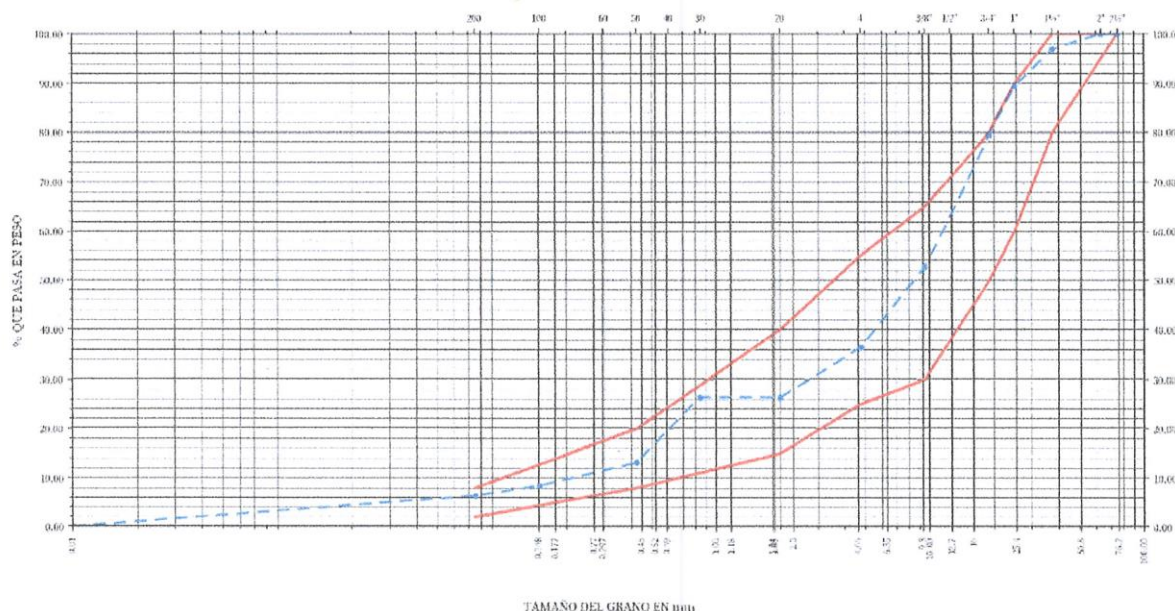
UBICACIÓN : MEZCLA DE CANTERA 60% HORMIGON ISLA + 40% DE LIGANTE CANTERA TAPARACHI

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

TAMICES ASTM	ABERTUR A MM	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000					A	Peso inicial : 5,673.00 Grs
2 1/2"	63.000						Peso fracción : Grs
2"	30.000			100.00	100 - 100		Grava : 63.60 %
1 1/2"	37.500	178.00	3.10	3.10	96.90		Arena : 30.00 %
1"	25.000	425.00	7.50	10.60	89.40		Fino : 6.40 %
3/4"	19.000	565.00	10.00	20.60	79.40		W natural : 4.12 %
1/2"	12.500	854.00	15.10	26.70	94.40		LIMITES DE CONSISTENCIA
3/8"	9.500	865.00	15.70	47.40	52.60	30 - 65	L.L. : 22.00 %
No.04	4.750	921.00	15.20	63.60	36.40	25 - 55	L.P. : 19.81 %
No.10	2.000	565.00	10.00	73.60	26.40	15 - 40	I.P. : 2.19 %
No.20	0.840	565.00	5.70	73.60	26.40		CLASIFICACION
No.40	0.425	265.00	7.50	86.80	13.20	8 - 20	SUCS : GP-GM
No.100	0.150	265.00	4.70	91.50	8.50		AASHTO : A-1-a (0)
No.200	0.075	121.00	2.10	93.60	6.40	2 - 8	
<No.200		365.00	6.40	100.00			

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTOS
JEFATURA
MANUEL GOSME ALARCON
CIP 103257

B. N° 006-00305329



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

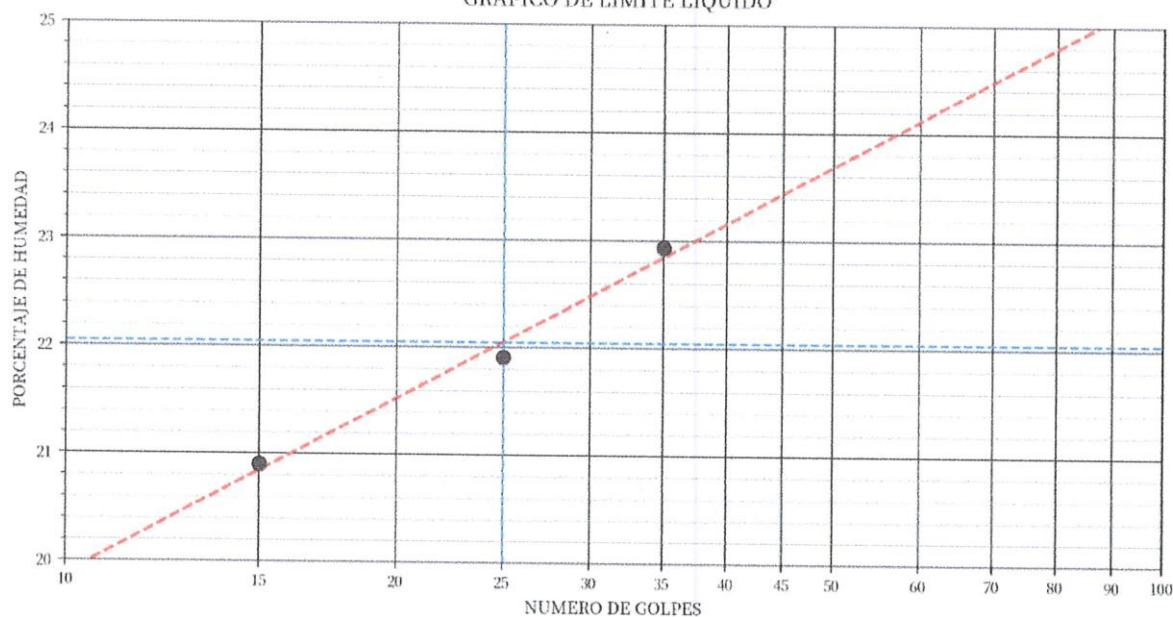
UBICACIÓN : MEZCLA DE CANTERA 60% HORMIGON ISLA + 40% DE LIGANTE CANTERA TAPARACHI

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	15	25	35	1T	2T
01. No. DE GOLPES	15	25	35		
02. TARRO No.	1	2	3	1T	2T
03. SUELO HUMEDO * TARRO g	28.97	31.75	32.67	9.77	8.69
04. SUELO SECO * TARRO g	26.41	28.56	29.35	8.85	7.95
06. PESO DEL AGUA g	2.56	3.19	3.32	0.92	0.74
06. PESO DEL TARRO g	14.16	14.00	14.87	4.21	4.21
07. PESO DEL SUELO SECO g	12.25	14.56	14.48	4.64	3.74
08. HUMEDAD %	20.90	21.91	22.93	19.83	19.79
L.L.= 22.00 %		L.P.= 19.81 %		I.P.= 2.19	

GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO



Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV / FICP
INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO
M.S.C.A.
JEFATURA

DR. ARNALDO YAMATO PÉREZ
C.P. 103257

B. N° 006-00305329



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

UBICACIÓN : MEZCLA DE CANTERA 60% HORMIGON ISLA + 40% DE LIGANTE CANTERA TAPARACHI

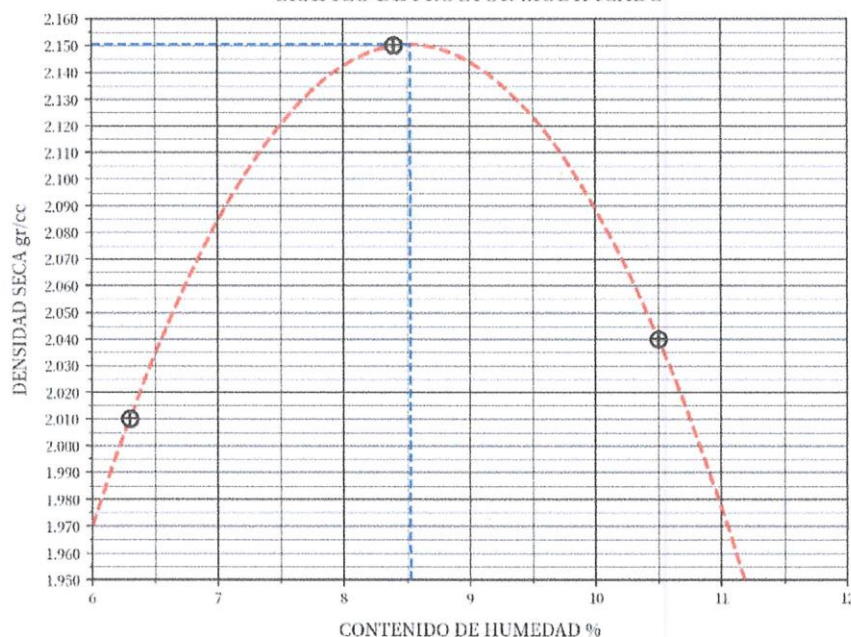
FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

DETERMINACIÓN DE DENSIDAD				
ENSAYO Nº	1	2	3	4
PESO MOLDE+SUELO	10,725	11,120	10,956	
PESO MOLDE	6,181	6,181	6,181	
PESO SUELO COMPACTADO	4,544	4,939	4,775	
VOLUMEN DEL MOLDE	2,121	2,121	2,121	
DENSIDAD HUMEDA	2.14	2.33	2.25	

DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD				
RECIPIENTE Nº	1	2	3	4
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	509.00	555.00	507.00	
SUELO SECO + RECIPIENTE	479.00	512.00	459.00	
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	30.00	43.00	48.00	
PESO DE SUELO SECO	479.00	512.00	459.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD	6.30	8.40	10.50	
DENSIDAD SECA	2.01	2.15	2.04	

GRAFICO DE PROCTOR MODIFICADO



Max. densidad seca
2.15
Conten. humedad óptima
8.50

Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV FICP
LABORATORIO M.S.C.A.
DEFATURA
MIGUEL ARNALDO YNATORRES
CIP 103257

B. N° 006-00305329



TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACION DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

UBICACIÓN : MEZCLA DE CANTERA 60% HORMIGON ISLA + 40% DE LIGANTE CANTERA TAPARACHI

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

Molde N°		1	2	3
Capa N°		5	5	5
Golpes por capa N°		56	25	12
Condición de la muestra		SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR
Peso molde + suelo humedo	gr.	11995	11845	11665
Peso del molde	gr.	7143	7237	7268
Peso del suelo humedo	gr.	4852	4608	4397
Volumen del molde	cc.	2077.3	2077.3	2077.3
Densidad Humedo	gr./cc	2.34	2.22	2.12
Humedad	%	8.70	8.50	8.50
Densidad seca	gr./cc	2.106	2.06	1.95
HUMEDADES				
Tarro N°		1	2	3
Tarro suelo humedo	gr.	350	307	382
Tarro suelo seco	gr.	322	283	352
Agua	gr.	26	24	30
Peso del Tarro	gr.	0	0	0
Peso del suelo seco	gr.	322	263	352
Humedad	%	8.7	8.5	8.5
Promedio de la humedad	%			

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION	DIAL	EXPANSION
				m.m.	%	m.m.
						%
NO REGISTRA EXPANSION						

PENETRACION

PENETRACION			LECTURA DIAL	LECTURA Lb	PENSION ES Lb/plg2	LECTURA DIAL	LECTURA Lb	PENSION ES Lb/plg2	LECTURA DIAL	LECTURA Lb	PENSION ES Lb/plg2
Tiem po	mm	plg									
0.3	0.6	0.25	96	987	329	72	755	252	52	562	187
1.0	1.3	0.5	147	1460	493	105	1074	358	54	871	290
1.3	1.3	0.075	165	1654	551	121	1229	410	110	1422	374
2.0	2.5	0.1	221	2195	775	181	1803	603	145	1461	487
3.0	3.0	0.15	362	3558	1186	272	2688	896	172	1722	574
4.0	5.0	0.2	436	4273	1424	336	3886	1295	241	2388	796
5.0	6.0	0.25	678	5326	1775	487	4766	1559	341	3065	1022
6.0	7.5	0.3	678	6611	2204	885	5809	1659	342	3364	1121
8.0	10.0	0.4									
10.0	12.5	0.5									

Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV FICP
INGENIERIA CIVIL
JEFATURA
CIP 103257

B. N° 006-00305329



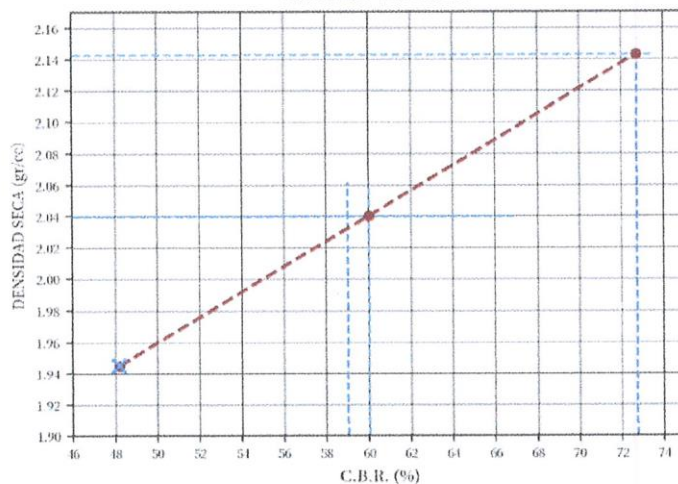
TESIS : INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE : Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

UBICACIÓN : MEZCLA DE CANTERA 60% HORMIGON ISLA + 40% DE LIGANTE CANTERA TAPARACHI

FECHA : 03 DE JUNIO DEL 2024

GRAFICO DE C.B.R.



PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R. 0.1' AL 100% = 72.73%

C.B.R. 0.1' AL 95% M.D.S. = 59.00%

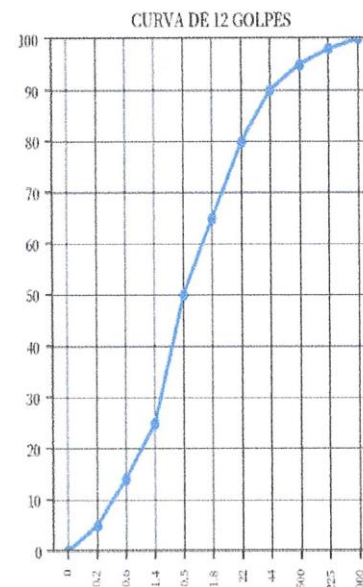
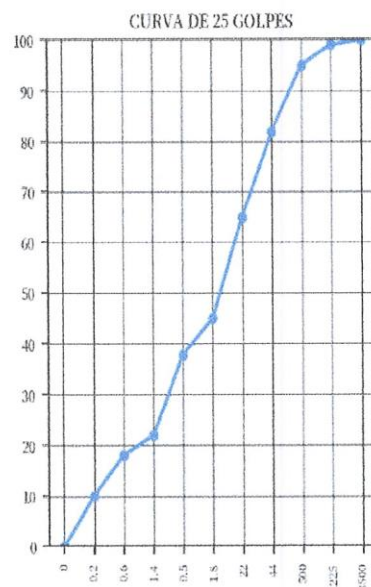
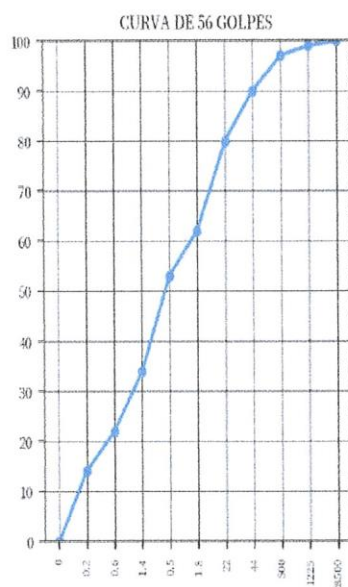
LEYENDA

— CURVA A 0.1"

C.B.R 0.1"= 72.73%

C.B.R 0.1"= 60.02%

C.B.R 0.1"= 48.20%



Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV - FICP
LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL
MIGUEL ARNALDO Y MATOSES
CIP 103257

B. N° 006-00305329



TESIS

: INFLUENCIA DE LA APLICACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND PARA LA ESTABILIZACIÓN DE BASES GRANULARES EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO

SOLICITANTE

: Bach. JUAN MANUEL GOSME ALARCON

UBICACIÓN

: MEZCLA DE CANTERA 60% HORMIGON ISLA + 40% DE LIGANTE CANTERA TAPARACHI

FECHA

: 03 DE JUNIO DEL 2024

EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)

Muestra	Nº1	Nº2	Nº3
Hora de entrada	10:46	10:48	10:50
Hora de salida	10:56	10:58	11:00
Hora de entrada	10:58	11:00	11:02
Hora de salida	11:18	11:20	11:22
Altura de nivel de material fino	9.20	9.40	9.40
Altura de nivel de arena	3.50	3.60	3.65
Equivalente de Arena	38.00	38.30	38.80
Equivalente de Arena Promedio:		38.4 %	

Nota: las muestras fueron puestas por el solicitante.

UANCV - FICP
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
CONCRETO Y ASFALTOS
Ing. ARNALDO VILLATORRES
DNI 10320

B. N° 006-00305329



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 26-01-2026

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: Juan Manuel Gosme Alarcón

Dirección: calle dos de mayo 401

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 71941769

Teléfono: 922 550130 email: gosme72@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: Ingenierías y Ciencias Puras

Escuela Profesional o Mención: Ingeniería civil

Título o Grado Académico a optar: Ingeniero civil

Asesor: Mgtl: Franz Joseph Barahona Perales

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐

Tesis ☒

Trabajo de Suficiencia Profesional ☐

Trabajo Académico ☐

Título: Influencia de la aplicación de la emulsión asfáltica y cemento portland para la estabilización de bases granulares

Palabras claves, (3 a 5 términos): Cemento Portland, Emulsión Asfáltica, Estabilización, Bases.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

1,2

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, entre 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.



2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 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)

- ☒ 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 comerciales 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
- ☒ No autorizo



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 la construcción - P17

Firma de Autor



huella digital

29 de enero del 2026

Fecha