



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



**INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID
PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL
EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JHONFH Ray KENNEDY ANCCORI VASQUEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2026



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID
PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL
EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:


Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

PRIMER MIEMBRO

:


Dr. ARNALDO YANA TORRES

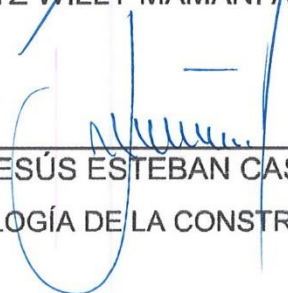
SEGUNDO MIEMBRO

:


Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ASESOR DE TESIS

:


M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 0066-2026-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 22 de enero del 2026

VISTO: El expediente N° 2026-CU-000089 presentado por el (la) Bachiller: **JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ** 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. **JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**, 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. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
- * **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Jueves 29 de enero del 2026
- * **HORA** : 08:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - 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. Ronald Madera Terán
DECANO (e)
CIP: 66975



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

cc.
Archivo 2026

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 958-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 29 de agosto del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 6764 por el señor (a): **JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 761- 2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (**BORRADOR DE TESIS**) formato N° 093 - 2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**, 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° 093 - 2025 **aprobandolo** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**, 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): **JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025** 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), M.Sc. **JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

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. PURAS
OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritzy Vally Mamaní Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo
interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 748-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 18 de julio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 5490, presentado por el señor (a) **JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO - N° 544 -2025-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 063-2025 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ** ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**, 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 de la propuesta de investigación formato N° 063-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025**.

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

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

RESUELVE:

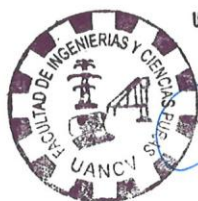
ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025** 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 **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

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. PURASDr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo 2025
Interesado (a)



INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CONDENSANTES MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

15%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Andina Nestor
Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

11%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

4%

3

repositorio.ucp.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

tesis.unap.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.uancv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

6

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1%

7

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1%



Metadatos Complementarios UANCV

Título de la tesis	
INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71265417
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0004-4810-317X
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4595-7589
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	CESAR GUILLERMO CAMARGO NÁJAR
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02441152
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659



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: San Román Distrito: Juliaca - Latitud: S 15° 29' 27'' - Longitud: O 70° 07' 37''  https://www.google.com/maps/d/edit?mid=15OVual-6Ir3iziVRY2J_sexe3_TazWQ&usp=sharing
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2025 – Enero 2026
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 CERDES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ, identificado con DNI Nro. 71265417, 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 ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

Asesorado por: M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

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 Abril del 2026

Firma del Asesor
(obligatoria)

Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Gracias por la oportunidad de participar en su prestigioso programa, la U.A.N.C.V. y la Facultad de Ingeniería Civil, mi querida alma máter.

Gracias a todos mis profesores por el honor que supone aprender de ustedes y compartir con el mundo lo que ustedes han aprendido.



AGRADECIMIENTO

"A Dios, por brindarme la sabiduría necesaria y ser mi amparo en cada jornada. A mi padre, cuya memoria me guía desde el cielo; a mi madre y a mis hermanos, por ser el soporte constante y la luz en mi sendero, impulsándome a actuar con rectitud hoy, mañana y siempre."

.



CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
CONTENIDO GENERAL.....	iii
CONTENIDO DE TABLAS	viii
CONTENIDO DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la realidad problemática	17
1.2. Formulación del problema	19
1.2.1. Problema general	19
1.2.2. Problemas específicos.....	20
1.3. Justificación de la investigación.....	20
1.3.1. Justificación técnica.....	20
1.3.2. Justificación económica.....	21
1.3.3. Justificación social	21
1.3.4. Justificación ambiental.....	21
1.4. Objetivos.....	22
1.4.1. Objetivo general.....	22



1.4.2. Objetivos específicos	22
1.5. Hipótesis	22
1.5.1. Hipótesis general	22
1.5.2. Hipótesis específicas:	23
1.6. Variables e indicadores	23
1.6.1. Variable Independiente (La Causa)	23
1.6.2. Variable Dependiente (El Efecto)	24

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación	25
2.1.1. Internacionales	25
2.1.2. Nacionales	28
2.1.3. Locales	30
2.2. Marco teórico	33
2.2.1. Pavimento	33
2.2.2. Suelos Naturales	35
2.2.3. Clasificación de Suelos	38
2.2.4. Especificaciones técnicas para la estabilización de suelos	46
2.2.5. Especificaciones técnicas generales para estabilización (EG – 2013) ...	48
2.2.6. Especificaciones técnicas de la norma MTC 301.C para la estabilización química de suelos en vías afirmadas	54
2.2.7. Especificaciones mínimas para subbase granular	58



2.2.8. Valorización y reincorporación de residuos de construcción y demolición en la ejecución de obras viales.....	59
2.2.9. Aditivo CON-AID	67
2.2.10. Secuencia de fases en el tratamiento de suelos con el aditivo CON-AID ..	77
2.3. Marco conceptual	79

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	82
3.2. Nivel de investigación	82
3.3. Diseño de investigación	83
3.4. Enfoque de la investigación	83
3.5. Población y muestra	83
3.5.1. Población	83
3.5.2. Muestra.....	84
3.6. Procedimiento de estudio	84
3.6.1. Materiales	84
3.6.2. Trabajos de Campo	86
3.6.3. Procedimientos y ensayos desarrollados en el laboratorio de mecánica de suelos	88
3.7. Procedimientos e instrumentos aplicados para la recopilación de datos de la investigación.....	105
3.7.1. Técnica	105
3.7.2. Instrumento.....	105



3.7.3. Ámbito del Estudio	106
---------------------------------	-----

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Evaluación e interpretación de los resultados obtenidos a partir de las muestras extraídas en campo	107
4.1.1. Resultados abrasión los ángeles MTC E 207	107
4.1.2. Caracterización granulométrica del suelo - MTC E 107	111
4.1.3. Límites de atterberg o de consistencia MTC E 111	114
4.1.4. Proctor Modificado MTC E 115	116
4.1.5. Valor Relativo de Soporte CBR MTC E 132	117
4.1.6. Análisis y resultados de la muestra subbase convencional (70%A.N.+30%H) sin aditivo	120
4.1.7. Análisis y resultados de la muestra subbase modificada (AR+H) sin aditivo	124
4.2. Resultados de las muestras para la conformación como subbase con adición de Con-Aid	129
4.2.1. Análisis de la Subbase Convencional (70%A.N.+30%H) con la adición de Con-Aid.	129
4.2.2. Límites de consistencia sub. convencional con aditivo Con-Aid	130
4.2.3. Proctor modificado subbase convencional con aditivo Con-Aid	131
4.2.4. Ensayo de valor relativo de soporte CBR subbase convencional con aditivo Con-Aid	133
4.2.5. Obtención de Con – Aid Óptimo Sub – base Convencional	134



4.3. Análisis de la subbase modificada (70%A.R.+30%H) con la adición de Con – Aid.....	135
4.3.1. Límite de consistencia de la subbase modificada.....	135
4.3.2. Proctor modificado de la subbase modificada	136
4.3.3. Ensayo de Valor Relativo de Soporte CBR.....	138
4.3.4. Obtención de Con-Aid óptimo subbase modificada.....	139
4.4. Comparación de los diseños para la subbase granular al añadir el aditivo Con-Aid	140
4.4.1. Influencia del aditivo Con – Aid en el diseño de la subbase convencional vs modificada.....	140
4.4.2. Influencia del aditivo Con – Aid en el índice de plasticidad	140
4.4.3. Influencia del Aditivo Con – Aid en el Proctor Modificado.....	141
4.4.4. Influencia del aditivo Con – Aid en el grado de compactación CBR	142
4.5. Discusión de resultados.....	144
CONCLUSIONES	146
RECOMENDACIONES	148
BIBLIOGRAFÍA	149
ANEXOS	153



CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de subrasantes	35
Tabla 2 Categorización de suelos bajo los criterios de la norma ASTM	41
Tabla 3 Evaluación geotécnica de suelos para su uso en proyectos de infraestructura vial.....	42
Tabla 4 Evaluación y clasificación de materiales geotécnicos para carreteras de acuerdo con la normativa AASHTO	46
Tabla 5 Requerimientos granulométricos para Subbase granular	58
Tabla 6 Requerimiento de Ensayos Especiales.....	58
Tabla 7 Muestra de investigación	84
Tabla 8 Gradación de las muestras de ensayo.....	90
Tabla 9 Abrasión del material reciclado	108
Tabla 10 Abrasión del material (ligante de cantera Taparachi)	109
Tabla 11 Abrasión del material (Hormigón cantera Isla).....	110
Tabla 12 Comparación de índice de plasticidad (material reciclado).....	114
Tabla 13 Índice de plasticidad (material de cantera Taparachi).....	115
Tabla 14 Ensayo de expansión del material reciclado	117
Tabla 15 Comparación del Valor Relativo de Soporte del material reciclado	118
Tabla 16 Ensayo de expansión (Muestra de cantera Taparachi).....	119
Tabla 17 Comparación del Valor Relativo de Soporte de la Muestra Taparachi.	119



Tabla 18 Resumen de resultados de la subbase convencional	121
Tabla 19 Ensayo de expansión (Subbase Convencional sin aditivo).....	123
Tabla 20 Comparación del valor relativo de soporte de la muestra (subbase convencional sin aditivo)	123
Tabla 21 Resumen de los ensayos realizados de la subbase modificado	125
Tabla 22 Ensayo de expansión muestra (subbase modificada sin aditivo)....	128
Tabla 23 Comparación del CBR de la muestra.....	128
Tabla 24 Comparación del índice de plasticidad con adición de Con-Aid.	131
Tabla 25 Máxima densidad seca con la adición de Con-Aid	132
Tabla 26 Contenido de Humedad Óptima con la adición de Con-Aid.....	133
Tabla 27 Porcentaje de expansión con la adición de Con-Aid.....	134
Tabla 28 Comparación del índice de plasticidad con adición Con-Aid	135
Tabla 29 Máxima densidad seca con la adición de Con-Aid	137
Tabla 30 Contenido de humedad óptima con la adición de Con-Aid	137
Tabla 31 Porcentaje de expansión con la adición de Con-Aid.....	139
Tabla 32 Resultado del ensayo de contenido de humedad optimo	142
Tabla 33 Análisis comparativo entre la mezcla modificada y la mezcla convencional con incorporación del aditivo CON-AID.....	143



CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Materiales destruidos y triturados que se han reciclado.....	19
Figura 2 Estructura típica de un pavimento	33
Figura 3 Componentes químicos presentes en la arcilla	38
Figura 4 Abaco de Plasticidad de Casagrande.	40
Figura 5 Clasificación geotécnica de materiales de textura fina bajo los parámetros del sistema AASHTO	45
Figura 6 Estabilización química.....	52
Figura 7 Reacción Química por Ionización.....	53
Figura 8 Escombros de demolición de veredas antigua.....	66
Figura 9 Condición original del suelo en presencia de agua adsorbida en su estructura	77
Figura 10 Efecto del aditivo CON-AID sobre la expulsión del agua retenida por adsorción	78
Figura 11 Condición del suelo tratado previo a la ejecución del proceso de compactación	78
Figura 12 Condición del suelo tratado previo a la ejecución del proceso de compactación	79
Figura 13 Se aprecia la cantidad de 250ml del aditivo Con-Aid	86
Figura 14 Se extrae la muestra del material reciclado	87
Figura 15 Materiales de la cantera Taparachi	87



Figura 16 Muestra zarandeada con gradación A.....	91
Figura 17 Muestra zarandeada con gradación A, material reciclado.....	92
Figura 18 Curva Granulométrica (Material reciclado).....	111
Figura 19 Curva Granulométrica (Material de cantera Taparachi)	112
Figura 20 Curva Granulométrica (Material Hormigón cantera Isla)	113
Figura 21 Grafico de limite liquido (material reciclado).....	114
Figura 22 Grafico de limite liquido (material de cantera Taparachi)	115
Figura 23 Curva de compactación (material reciclado)	116
Figura 24 Curva de compactación (material ligante cantera Taparachi)	117
Figura 25 Grafico de interacción del comportamiento CBR	118
Figura 26 Grafico del comportamiento CBR (Taparachi)	119
Figura 27 Curva de Granulométrica (Material Convencional).....	120
Figura 28 Grafico de limite liquido (material subbase convencional).....	122
Figura 29 Curva de compactación (material subbase convencional)	122
Figura 30 Curva CBR (material subbase convencional sin aditivo).....	124
Figura 31 Curva de Granulométrica (Material Subbase Modificado).....	126
Figura 32 Grafico de limite liquido (material Subbase Modificado).....	127
Figura 33 Grafico curva de compactación (material subbase modificada)	127
Figura 34 Grafico de interacción curva CBR	129
Figura 35 Porcentajes de índice de plasticidad con la adición de Con-Aid ...	130



Figura 36 Máxima densidad seca con la adición de Con-Aid.....	132
Figura 37 Contenido de Humedad Óptima con la Adición de Con-Aid.....	133
Figura 38 Porcentaje de Índice de CBR con la Adición de Con-Aid.....	134
Figura 39 Porcentajes de Índice de Plasticidad con la Adición de Con-Aid ..	136
Figura 40 Máxima densidad seca con la adición de Con-Aid.....	137
Figura 41 Contenido de humedad óptima con la adición de Con-Aid.....	138
Figura 42 Porcentaje de Índice de CBR con la Adición de Con-Aid.....	139
Figura 43 Influencia del aditivo Con-Aid en el índice de plasticidad.....	141
Figura 44 Influencia del aditivo Con-Aid en el Proctor modificado	142
Figura 45 Influencia del aditivo Con-Aid en el CBR.....	143



RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo, Analizar la influencia de la adición del aditivo Con-Aid para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la subbase convencional en la ciudad de Juliaca, 2025. Metodología: La investigación es de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, nivel explicativo y un diseño experimental. Se evaluaron dos tipos de mezclas para subbase: una convencional (agregado natural de cantera + hormigón) y una modificada (material reciclado de construcción y demolición + hormigón). Se aplicaron dosificaciones del estabilizador iónico Con-Aid (40ml, 60ml y 80ml por m³) y se realizaron ensayos de caracterización como granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, bajo la normativa MTC EG-2013. Resultados: La adición de Con-Aid incrementó significativamente la capacidad de soporte (CBR), elevándola a 71.99% en la subbase convencional y a 75.58% en la modificada, superando ampliamente el 40% requerido por norma. Asimismo, se logró reducir el índice de plasticidad de valores iniciales superiores al 6.5% hasta niveles cercanos al límite normativo del 4% (3.93% en la convencional y 4.16% en la modificada). La máxima densidad seca también mejoró, pasando de un promedio de 1.72 a 2.00 gr/cm³. Se concluye que el aditivo Con-Aid influye positivamente en la mejora de las propiedades físico-mecánicas de la subbase. Su uso optimiza la resistencia, reduce la permeabilidad y permite la reutilización de materiales reciclados, ofreciendo una alternativa técnica y económica viable para la infraestructura vial en suelos críticos como los de Juliaca.

Palabras claves: CBR, aditivo Con-Aid, canteras, material reciclado.



ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the influence of adding the Con-Aid additive to improve the physical and mechanical properties of conventional subbase in the city of Juliaca, 2025. Methodology: The research is applied, with a quantitative approach, explanatory level, and experimental design. Two types of subbase mixtures were evaluated: a conventional one (natural quarry aggregate + concrete) and a modified one (recycled construction and demolition material + concrete). Dosages of the Con-Aid ionic stabilizer (50 ml, 70 ml, and 90 ml per m^3) were applied, and characterization tests were performed, including granulometry, Atterberg limits, modified Proctor, and CBR, under MTC EG-2013 regulations. Results: The addition of Con-Aid significantly increased the bearing capacity (CBR), raising it to 71.99% in the conventional subbase and 75.58% in the modified subbase, well above the 40% required by the standard. Likewise, the plasticity index was reduced from initial values above 6.5% to levels close to the regulatory limit of 4% (3.93% in the conventional subbase and 4.16% in the modified subbase). The maximum dry density also improved, from an average of 1.72 to 2.00 g/cm^3 . It is concluded that the Con-Aid additive has a positive influence on improving the physical and mechanical properties of the subbase. Its use optimizes resistance, reduces permeability, and allows for the reuse of recycled materials, offering a viable technical and economic alternative for road infrastructure in critical soils such as those in Juliaca.

Keywords: CBR, Con-Aid additive, quarries, recycled material



INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, los ingenieros de carreteras están buscando formas de construir vías que puedan soportar el creciente número de vehículos que circulan por ellas, así como los efectos del cambio climático. Aunque reducir la brecha en materia de infraestructuras es uno de los principales objetivos del Gobierno peruano, muchos de los fallos en el pavimento se deben a problemas en las capas de subbase y base, y no a la construcción de la capa de asfalto. En zonas con terrenos complicados y suelos con propiedades geotécnicas desfavorables, las técnicas de estabilización del suelo que dependen únicamente de medios mecánicos no han sido suficientes.

La expansión urbana y económica de Juliaca en los últimos años ha generado una demanda sin precedentes de infraestructura vial. Sin embargo, persiste un obstáculo técnico en este desarrollo: la escasa capacidad portante de los suelos y las duras condiciones climáticas que aceleran la degradación de las carreteras. Las técnicas convencionales suelen dar lugar a defectos en la subbase, lo que provoca fallos prematuros, baches y costosos gastos de mantenimiento. La subbase es la capa fundamental que distribuye las cargas a la subrasante. Dado que los suelos en la mayor parte de Juliaca son arcillosos, arenosos y limosos con una capacidad de carga CBR inferior a la especificada en la Tabla 402-02 (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES, 2013, p. 360), el material debe tener un CBR mínimo del 40 % para cumplir los requisitos en nuestra zona, situada a una altitud de más de 3000,00 m s. n. m.

La estabilidad de las capas granulares se ve muy afectada por las fluctuaciones del nivel freático y la presencia de suelos altamente plásticos en



Juliaca. Debido a las elevadas cargas de tráfico y a la saturación continua en las zonas comerciales, las propiedades mecánicas de la capa de base estándar, que suele estar compuesta por áridos seleccionados, se ven a veces comprometidas. Esta situación exige el uso de tecnologías de estabilización química para mejorar el comportamiento del suelo sin aumentar significativamente los costes de construcción.

Las construcciones de pavimentos que sirven como cimientos y subbases dependen de una variedad de recursos naturales, que son utilizados en grandes cantidades por la industria de la construcción en todo el mundo. El reciclaje de áridos da lugar a un excedente anual respecto al consumo. Por lo tanto, el elevado consumo de materia prima y el impacto significativo de este tipo de residuos presentan ventajas e inconvenientes, lo que ha impulsado la búsqueda de nuevas aplicaciones en este ámbito. (Bach. Víctor Alfonso Herrera Lázaro y Bach. K'Arlita Beatriz Contreras Quezada, 2015, p. 6)).



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la realidad problemática

Juliaca, el motor comercial de Puno, enfrenta un grave problema: sus calles se destruyen prematuramente porque su infraestructura vial está bajo un "ataque" constante del agua. Debido a que la ciudad es muy plana y el agua subterránea está casi a nivel del suelo, las lluvias no tienen hacia dónde correr y se filtran en las capas internas del pavimento. En este escenario, la subbase (la capa de piedra que debería servir de soporte y filtro) termina funcionando como una piscina atrapada; al inundarse, los materiales de las canteras locales pierden su firmeza y su capacidad de carga (CBR), convirtiéndose en una base inestable que colapsa bajo el peso de los vehículos y termina rompiendo la superficie de las pistas.

En la práctica actual de la ingeniería civil en Juliaca, predomina el uso de paquetes estructurales convencionales bajo los lineamientos de la norma MTC



EG-2013. Este diseño estándar contempla una capa de subbase de 0.20 m conformada por material granular de la cantera Taparachi (50% hormigón y 50 % ligante) sobre un mejoramiento de subrasante de 0.50 m con material tipo over. Sin embargo, esta configuración presenta una vulnerabilidad crítica ante el entorno hidrogeológico local: un nivel freático somero (inferior a 0.60 m). Esta proximidad de la capa freática genera una ascensión capilar que satura el cuerpo del pavimento, anulando el drenaje interno y provocando la degradación de las propiedades mecánicas de la subbase por exceso de presiones de poros. Ante esta deficiencia del diseño tradicional, se propone una reingeniería de la mezcla granular, sustituyendo el ligante convencional por material de excavación reciclado (material de corte y eliminación). Esta propuesta aprovecha la granulometría de predominancia gruesa del material descarte, la cual ofrece un elevado potencial de fricción interparticular y una mayor estabilidad volumétrica frente a la saturación, optimizando así la durabilidad de la estructura vial y fomentando la economía circular en la construcción.

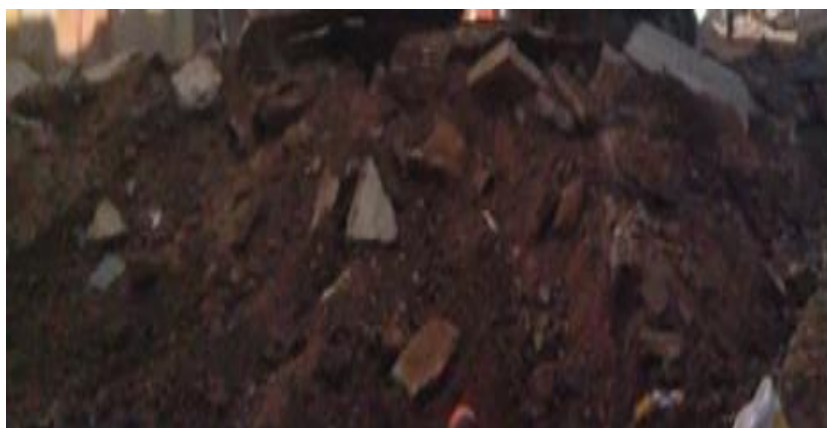
Se mezclaron dos muestras utilizando materiales reciclados: una era una subbase granular convencional compuesta por material cribado y hormigón, mientras que la otra era una mezcla de suelos arcillosos reciclados, escombros de construcción y hormigón que también incluía el estabilizador iónico Con-Aid. La sustancia puede hacerse hidrófoba, o repelente al agua, mediante el uso de nuestro ingrediente Con-Aid. El resultado es un alto índice de resistencia CBR tras el curado y una reducción significativa del contenido de agua durante la compactación. También se evita la segregación de partículas finas, por lo que ya no existe la posibilidad de fallos estructurales debidos a huecos. Esto minimiza

el coste de ejecución del proyecto en nuestra ciudad de Juliaca al eliminar la necesidad de emplear escombros de demolición rellenos de material granular y suelo arcilloso-limoso estabilizado con la adición de Con-Aid.

Este proyecto de tesis tiene como objetivo aplicar nuevas tecnologías al proceso de construcción para formar subbases granulares estabilizadas con un aditivo. El objetivo es encontrar la proporción óptima del aditivo para mejorar las propiedades físico-mecánicas, lo que conducirá a bajos costes de construcción, alta capacidad de carga y una larga vida útil.

Figura 1

Materiales destruidos y triturados que se han reciclado



1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye la adición del aditivo Con-Aid para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la subbase convencional en la ciudad de Juliaca, 2025?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cuáles son las características físico - mecánicas de los materiales extraídos de las canteras para la conformación de la Subbase granular?
2. ¿Cuáles son las propiedades físico - mecánicas del material utilizado en la subbase convencional al incorporar el aditivo Con-Aid?
3. ¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas del material reciclado utilizado en la conformación de una subbase modificada al incorporar el aditivo Con - Aid?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación técnica

El propósito central de esta investigación es identificar los tipos de suelo más adecuados para ser utilizados como base en la construcción de carreteras, con el fin de garantizar una mayor resistencia y durabilidad en su estructura. La selección de suelos de óptima calidad para la conformación de la subbase no solo contribuye a mejorar las características físicas y mecánicas de las vías no pavimentadas, sino que también fortalece la plataforma vial, prolongando considerablemente su vida en servicio.

Cuando la subbase no alcanza los niveles mínimos de resistencia requeridos, la estabilización química se presenta como una alternativa viable dentro de las distintas técnicas de intervención disponibles. Su aplicación debe estar respaldada por estudios científicos que certifiquen la compatibilidad del



suelo con los agentes químicos empleados, siendo responsabilidad del especialista a cargo validar dicha idoneidad.

Asimismo, los productos utilizados en este proceso deben cumplir con estrictos criterios de inocuidad, garantizando que no representen riesgo alguno para la salud humana, la fauna ni el entorno natural. En este sentido, se privilegia el uso de enzimas ecológicas o compuestos multienzimáticos que, al ser diluidos en agua, pueden aplicarse de manera segura y sostenible (CE 020, 2018).

1.3.2. Justificación económica

Dado que queremos encontrar el mejor agente estabilizador mediante la investigación y reducir los gastos de mantenimiento de las carreteras, esto resulta rentable.

1.3.3. Justificación social

El hecho de que el estudio haga hincapié en los beneficios para la población de los alrededores le confiere legitimidad social, ya que pretende comprender las repercusiones de la incorporación de estabilizadores en una carretera cercana a las comunidades locales. Al eliminar la necesidad de explotar canteras cerca de estas comunidades, lo que podría interferir en su vida cotidiana, se ahorra tiempo y dinero.

1.3.4. Justificación ambiental

La flora y la fauna de la cantera de Taparachi se verían afectadas negativamente por el uso del aditivo ConAid para estabilizar los suelos limoso-arcillosos de la subbase de la cantera. Otra preocupación es que todas las obras de construcción envían sus materiales de excavación y relleno a un vertedero



situado en Chilla, cerca de la salida hacia Capachica, lo que genera polvo a lo largo de todo el trayecto hasta el vertedero y perjudica a la población local.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar la influencia de la adición del aditivo Con-Aid para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la subbase convencional en la ciudad de Juliaca, 2025.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Determinar las características físico - mecánicas de los materiales extraídos de las canteras para la conformación como Subbase granular.
2. Determinar las propiedades físico – mecánicas de los materiales para la conformación de la subbase convencional con la adición del aditivo Con-Aid.
3. Determinar las propiedades físico – mecánicas de los materiales para la conformación de la subbase modificada (material reciclado) con la adición del aditivo Con-Aid.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La adición del aditivo Con-Aid mejora las propiedades físicas y mecánicas de la subbase convencional en Juliaca, 2025.

1.5.2. Hipótesis específicas:

1. Los materiales extraídos de las canteras cumplen con las propiedades físico-mecánicas requeridas para su uso como subbase granular.
2. La adición del aditivo Con-Aid mejora las propiedades físico-mecánicas del material utilizado en la subbase convencional.
3. La adición del aditivo Con-Aid mejora las propiedades físico-mecánicas del material reciclado utilizado en la subbase modificada.

1.6. Variables e indicadore

1.6.1. Variable Independiente (La Causa)

Es el factor que tú, como investigador, vas a manipular para observar los cambios.

- Variable: Adición del aditivo Con-Aid.
- Definición Operacional: Aplicación de diferentes dosificaciones del estabilizador iónico líquido sobre el material de subbase.

Indicadores:

- Dosificaciones: (40ml, 06ml, 80ml).
- Método de aplicación: Proporción de dilución en agua de compactación.



1.6.2. *Variable Dependiente (El Efecto)*

Son las propiedades que van a cambiar o mejorar como consecuencia de la aplicación del aditivo.

- Variable: Propiedades físicas y mecánicas de la subbase convencional.
- Definición Operacional: Resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio normalizados (MTC / ASTM).

Indicadores:

- Granulometría
- Índice de plasticidad
- Relación densidad-humedad
- Abrasión Los Ángeles
- Proctor modificado
- CBR



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacionales

En su investigación titulada "Análisis comparativo de la compactación y humedad de la subrasante natural y la subrasante utilizando productos químicos biodegradables (TerraSil), de la vía ecológica del Cantón Quevedo, provincia de Los Ríos", Rodríguez (2016) se planteó como objetivo principal establecer el porcentaje óptimo del aditivo TerraSil para lograr la estabilización de suelos de composición limo arcillosa, comparando posteriormente el comportamiento del suelo en su estado natural frente al suelo tratado con dicho producto. La metodología adoptada fue de carácter experimental, llevándose a cabo las pruebas directamente en campo (In-Situ), donde las muestras fueron intervenidas de manera controlada. Para ello, se aplicó una dosificación de 0.5 litros del aditivo TerraSil por cada metro cúbico de suelo, disuelto en 7.87 litros de agua. Los resultados obtenidos permitieron concluir que la incorporación del aditivo TerraSil produjo una mejora significativa en las propiedades del suelo: el valor de CBR experimentó un incremento del 14% transcurridos 7 días desde la



aplicación del tratamiento, mientras que el porcentaje de humedad y la capacidad de absorción del suelo se redujeron en un 27.86%, evidenciando así una mayor estabilidad y resistencia del material tratado (Rodríguez, 2016).

Quiran (2015), en su tesis denominada "Estabilización de suelos con productos enzimáticos, como alternativa a la carencia de bancos de préstamo de material en el departamento de Guatemala", tuvo como propósito evaluar la eficacia de un aditivo multienzimático a base de enzimas orgánicas, presentándolo como una alternativa ante la escasez de materiales de préstamo en proyectos viales. Para ello, se realizaron ensayos de CBR al 95% de compactación, obteniendo en el suelo natural un valor de 11.2%; posteriormente, al incorporar un 15% de arena, este valor ascendió a 16.7%; finalmente, al añadir el aditivo enzimático, se registraron incrementos progresivos de resistencia, alcanzando 21.9% a los 7 días, 34.4% a los 14 días y 40.1% a los 21 días, corroborando la efectividad de esta técnica de estabilización. El autor concluyó que la aplicación adecuada del aditivo reduce considerablemente los costos de mantenimiento y reparación de las vías; sin embargo, precisó que su uso es viable únicamente en suelos que contengan como mínimo un 20% de fracción arcillosa, condición esencial para garantizar la correcta reacción del producto con el material tratado (Quiran, 2015).

Sánchez (2014), en su tesis titulada "Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector Calcical del Cantón Tosagua, Provincia de Manabí", planteó como objetivo principal estabilizar suelos de naturaleza expansiva mediante la aplicación de cal y cemento, buscando reducir su potencial de expansión y mejorar sus propiedades geotécnicas. Los resultados



obtenidos permitieron clasificar el suelo, según el sistema SUCS, como una arcilla de alta plasticidad (CH), y conforme a la clasificación AASHTO como una arcilla plástica (A-7-5). En cuanto a los efectos del cemento sobre las propiedades índice del suelo, se determinó que con una dosificación del 9% de cemento se alcanzó el menor valor del índice de plasticidad (IP), logrando una reducción del 36% respecto al estado natural del suelo, mientras que el límite líquido (LL) se incrementó en un 8% y el límite plástico (LP) experimentó un aumento del 61%. Respecto al control del hinchamiento, los ensayos evidenciaron una reducción progresiva conforme aumentaba el contenido de cemento: con el 3% se obtuvo una disminución del 57%, con el 5% la reducción ascendió al 74%, y con el 7% se logró una disminución del 87%, demostrando así la eficacia del cemento como agente estabilizador en suelos expansivos (Sánchez, 2014).

Chaurasia, Mishra y Pawar (2021) desarrollaron un estudio cuyo objetivo principal fue verificar que la incorporación de una bioenzima denominada Terrazyme produce mejoras en las propiedades geotécnicas de dos tipos de suelo: la tierra de algodón negra (BCS, por sus siglas en inglés) y la tierra roja (RS). La investigación adoptó un enfoque experimental, en el cual la bioenzima fue evaluada en suelos con distintas características de índice, tanto en su estado natural como estabilizado, aplicando diferentes dosificaciones del producto. Los resultados obtenidos revelaron que, a partir de la segunda aplicación del estabilizador, se produjo una mejora considerable en la resistencia de ambos tipos de suelo. En los ensayos de compresión sin confinamiento (UCS), se registró un incremento en la capacidad portante de 168 KPa para la BCS y de

174 KPa para la RS, evidenciando una mayor resistencia a la deformación en ambos casos. Por su parte, los ensayos de CBR arrojaron un aumento del 5.5% en la BCS y del 5.7% en la RS. Estos hallazgos permitieron concluir que la estabilización con Terrazyme mejora de manera significativa la resistencia del suelo, incrementando tanto su capacidad de carga como su comportamiento frente a esfuerzos de deformación, lo que la posiciona como una alternativa eficaz para el tratamiento de suelos en proyectos de infraestructura vial (Chaurasia, Mishra y Pawar, 2021).

2.1.2. Nacionales

Castillo (2018), en su tesis denominada "Influencia de la aplicación de aditivos químicos en la estabilización de suelos cohesivos para uso como subrasante mejorada de pavimentos entre los sectores Calamarca-Huaso, La Libertad, 2018", se planteó como objetivo principal determinar el grado de influencia que ejercen los aditivos químicos en la estabilización de suelos cohesivos destinados a ser utilizados como subrasante mejorada en estructuras de pavimento. Con dicha finalidad, se ejecutaron ensayos de caracterización que abarcaron las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo estudiado. Los resultados obtenidos permitieron concluir que la aplicación del aditivo PROES, en combinación con cemento Portland y bajo una dosificación de 0.27 L/m³, generó una mejora sustancial en las propiedades mecánicas del suelo, incrementando su capacidad de soporte en un 100% en comparación con el suelo en su estado natural. De este modo, quedó demostrado que la combinación del aditivo químico PROES con cemento Portland constituye una solución eficaz para elevar la capacidad portante de suelos cohesivos,



asegurando un desempeño óptimo de la subrasante y, por ende, un adecuado funcionamiento del pavimento. Este antecedente resulta de gran relevancia para la presente investigación, pues proporciona una referencia concreta sobre la dosificación óptima necesaria para obtener mejores resultados en las propiedades mecánicas del suelo en la zona de Calamarca-Huaso (Castillo, 2018).

En su tesis titulada «Análisis de la estabilización del material de cantera en el km 02+700 de la carretera CU-123 San Jerónimo-Mayumbamba, con la adición de un estabilizador iónico», Núñez (2015) se propuso determinar las variaciones de plasticidad, el grado de compactación, la capacidad de carga (CBR) y los costes del material extraído de la cantera en el km 02+700 de la ruta CU-123 San Jerónimo-Mayumbamba, con la incorporación del estabilizador iónico CON-AID. Los resultados mostraron que este aditivo iónico mejora considerablemente el grado de compactación y provoca cambios favorables en la flexibilidad del suelo. Al comparar el comportamiento del suelo en su forma original con el que se observa tras aplicar varias concentraciones del producto —15 %, 30 %, 45 % y 60 %—, se observó un aumento significativo de la capacidad de carga CBR —de hasta un 131,97 %—. Según Núñez (2015), los resultados muestran que la adición de CON-AID mejora en cierta medida las cualidades físico-mecánicas del suelo, lo cual es importante para estabilizarlo eficazmente y construir carreteras más duraderas y resistentes.

Villalobos y Guevara (2020) desarrollaron una investigación cuyo objetivo principal fue determinar la influencia de tres estabilizantes químicos, Consolidado, CON-AID y PROES, sobre la resistencia y el aspecto económico



de suelos con alto contenido arcilloso, con la finalidad de mejorar la subrasante de la vía de acceso de la Asociación María Magdalena, ubicada en Lurigancho-Chosica. El estudio fue desarrollado bajo un diseño experimental, cuyos resultados evidenciaron incrementos considerables en los valores de CBR al aplicar cada uno de los aditivos evaluados. En cuanto a los resultados individuales, el estabilizante Consolidado permitió elevar la clasificación del suelo de una condición "pobre" a una categoría "excelente", alcanzando un CBR del 36.20%; el aditivo PROES, por su parte, registró el valor más alto con un CBR del 75.00%; mientras que la combinación de CON-AID con cemento Portland arrojó un CBR del 52.00%. A partir de estos resultados, los autores concluyeron que el aditivo PROES en combinación con cemento Portland representa la alternativa más eficiente para modificar y mejorar las propiedades mecánicas del suelo, no solo por el notable incremento en su resistencia, sino también por ser el producto de menor costo disponible en el mercado, lo que lo posiciona como una solución técnica y económicamente viable para proyectos de estabilización vial (Villalobos y Guevara, 2020).

2.1.3. Locales

Romero (2024) llevó a cabo una investigación orientada a realizar un análisis comparativo entre tres estabilizantes químicos, PROES, CONAID y TERRAZYME, aplicados en la subrasante de vías no pavimentadas. El estudio adoptó una metodología cuantitativa bajo un diseño cuasiexperimental, con una selección de muestras obtenidas mediante muestreo crítico o juicioso. En cuanto a las propiedades índice del suelo natural, se determinó un límite plástico de 15%, un límite líquido de 25%, un contenido de humedad de 8.34%, una



gravidad específica de 2.774 gr/cm^3 y un CBR al 95% de 4.6%, evidenciando una capacidad portante deficiente en su estado original. Al incorporar el aditivo PROES en dosificaciones del 25%, 28% y 30%, los valores de CBR ascendieron a 14.6%, 33.6% y 46.6% respectivamente; con la aplicación de CONAID en proporciones de 15%, 18% y 20%, se obtuvieron valores de 8.4%, 16.1% y 35.8%; mientras que con TERRAZYME en concentraciones de 2%, 3% y 4%, los resultados fueron de 7.5%, 6.1% y 14.7%. Respecto al análisis económico para el mejoramiento de una capa de subrasante, el costo estimado con PROES ascendió a S/. 731,077.28, con CONAID a S/. 703,469.78 y con TERRAZYME a S/. 537,824.78, siendo este último el de menor costo. El autor concluyó que la dosificación óptima corresponde al 28% de PROES, por registrar la mejor mejora en la capacidad de soporte del suelo; no obstante, este aditivo representa el mayor costo entre las alternativas evaluadas, debido al elevado porcentaje de aplicación requerido (Romero, 2024).

Cárdenas (2018) desarrolló una investigación cuyo propósito central fue determinar de qué manera el aditivo CON-AID CBR Plus optimiza las condiciones del suelo para su aprovechamiento como capa base en pavimentos flexibles, específicamente en la carretera Juliaca-Tilali. El estudio se enmarcó dentro de un diseño cuasiexperimental, con un tipo de investigación aplicada y un enfoque cuantitativo. Los resultados obtenidos confirmaron que el aditivo CON-AID CBR Plus cumple de manera efectiva con su función de incrementar el índice CBR en suelos de composición arcillosa, alcanzando un valor máximo de CBR del 56% con una dosificación del 1.0%, la cual fue identificada como la dosis óptima para este tipo de material. A partir de estos hallazgos, se concluyó



que la incorporación del aditivo generó una mejora significativa tanto en el grado de compactación como en la capacidad de soporte del suelo, lo que a su vez se traduce en una reducción considerable del tiempo requerido durante el proceso de compactación, representando una ventaja técnica y operativa relevante para la ejecución de proyectos viales (Cárdenas, 2018).

Cariapaza (2024), en su tesis denominada "Estabilización de la subrasante mediante la aplicación del aditivo CON-AID en la Avenida Industrial Salcedo Puno", presentada en la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, analizó el efecto del aditivo iónico CON-AID sobre suelos con baja capacidad portante. La investigación se desarrolló bajo una metodología de tipo aplicada y experimental, orientada a evaluar el comportamiento del suelo ante diferentes condiciones de tratamiento. Los resultados obtenidos permitieron concluir que, al aplicar una dosificación del 0.30% de CON-AID, el valor del CBR experimentó un incremento considerable, pasando de un valor inicial crítico a uno superior al 95%, lo que representó una mejora en la resistencia del suelo del 339.82%, evidenciando la alta eficacia del producto en el tratamiento de suelos de baja capacidad portante. Este antecedente cobra especial relevancia para la presente investigación, dado que demuestra la efectividad del aditivo CON-AID bajo las condiciones climáticas frías propias de la región de Puno, así como su capacidad para transformar suelos de naturaleza plástica en estratos geotécnicamente estables, aptos para soportar las cargas propias de la infraestructura vial (Cariapaza, 2024).

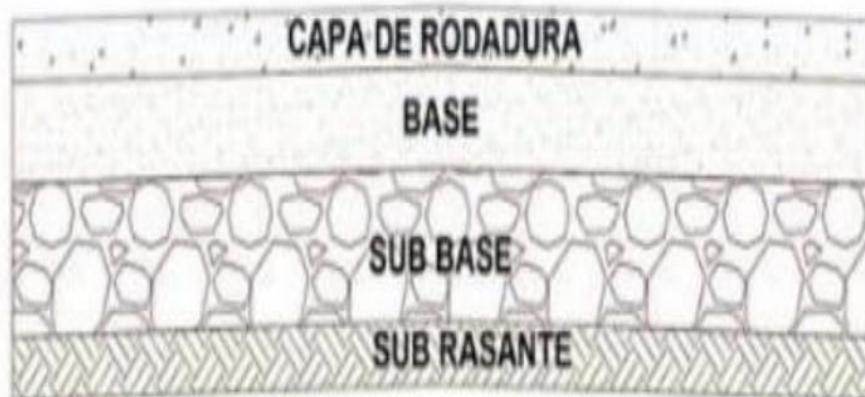
2.2. Marco teórico

2.2.1. Pavimento

El pavimento constituye una estructura multicapa edificada sobre la subrasante de una vía, cuya función principal es resistir y distribuir adecuadamente los esfuerzos generados por el tránsito vehicular, al mismo tiempo que garantiza condiciones óptimas de seguridad y comodidad para los usuarios. De manera general, esta estructura se compone de tres capas fundamentales: la subbase, la base y la capa de rodadura, las cuales se asientan sobre el suelo natural o subrasante, tal como se ilustra en la Figura N°01 (Ministerio de Transportes, 2013).

Figura 2

Estructura típica de un pavimento



A. Capa de rodadura

La función de la capa superior de un pavimento que puede estar formada por adoquines, asfalto (un material flexible) u hormigón de cemento Portland es soportar directamente el tráfico.



B. Base

La base constituye la capa ubicada inmediatamente por debajo de la capa de rodadura, y su función esencial radica en soportar, distribuir y transmitir de manera eficiente las cargas provenientes del tránsito vehicular hacia las capas inferiores de la estructura. Para cumplir adecuadamente con dicha función, esta capa debe estar conformada por material granular con características drenantes que presente un CBR igual o superior al 80%, o en su defecto, ser tratada mediante la incorporación de agentes estabilizadores como asfalto, cal o cemento (Ministerio de Transportes, 2013).

C. Subbase

La subbase es una capa conformada por material de características técnicas específicas y un espesor determinado en función del diseño estructural del pavimento, cuya finalidad es brindar soporte tanto a la capa base como a la carpeta de rodadura. Adicionalmente, cumple un rol importante en el sistema de drenaje de la estructura vial, actuando como elemento regulador de la capilaridad del agua y evitando su ascenso hacia las capas superiores. Cabe señalar que, según el tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, la incorporación de esta capa puede resultar prescindible. En cuanto a sus características materiales, la subbase puede estar compuesta por material granular con un CBR igual o superior al 40%, o bien ser estabilizada mediante el tratamiento con asfalto, cal o cemento, dependiendo de las condiciones geotécnicas del proyecto (Ministerio de Transportes, 2013).

D. Subrasante

La subrasante corresponde a la capa de suelo natural que debe ser debidamente preparada y compactada con anterioridad a la colocación de la estructura del pavimento. Su función primordial consiste en soportar el conjunto de capas que conforman dicha estructura, razón por la cual el suelo destinado a esta capa debe reunir características geotécnicas aceptables que garanticen su estabilidad. Para ello, el material es compactado en capas sucesivas hasta conformar un cuerpo homogéneo y resistente en condiciones óptimas, con el propósito de asegurar que la subrasante sea capaz de absorber y resistir adecuadamente las cargas de diseño transmitidas por el tránsito vehicular, sin que su integridad estructural se vea comprometida (Ministerio de Transportes, 2013).

Tabla 1

Clasificación de subrasantes

CATEGORÍA	CBR (%)	COMPORTAMIENTO COMO SUBRASANTE
S1	$CBR \leq 3$	Malo
S2	$3 < CBR \leq 5$	Regular
S3	$5 < CBR \leq 10$	Bueno
S4	$CBR > 10$	Muy Bueno

Nota: Ministerio de Transporte (2013)

2.2.2. Suelos Naturales

El uso de materiales naturales en los proyectos de construcción de carreteras exige el empleo de materias primas de alta calidad para garantizar que la capa de base se encuentre en las mejores condiciones posibles y cumpla

con nuestra normativa. Estos materiales pueden contener partículas gruesas o finas, según nuestras propias normas. Todo el mundo sabe que el suelo tiene una forma. Suelo es un término que utilizan muchos expertos. Sus intereses determinan la explicación que se da. Por ejemplo, los agrónomos utilizan esta expresión para describir la zona del planeta apta para la vida vegetal. Para los ingenieros, esta es una interpretación demasiado restrictiva. El material que ha sufrido meteorización en su ubicación actual y que incluye materia orgánica cerca de la superficie es lo que los geólogos denominan «meteorizado»; esta descripción es relevante para el proyecto, ya que excluye los materiales transportados que no sufren meteorización tras su traslado.

A efectos de este estudio, se consideran «suelo» todos los elementos del suelo, incluidos los rellenos, las areniscas parcialmente cementadas y las lutitas blandas. Esta definición no incluye las rocas que no corren peligro de derrumbe o de erosión, como las rocas ígneas o metamórficas, ni los sedimentos fuertemente cementados. El contenido de agua del suelo es un componente esencial debido al importante impacto que tiene en el comportamiento mecánico del suelo. ALFONSO RICO RODRÍGUEZ y EULALIO JUÁREZ BADILLO, 1973, p. 7. Entre los suelos que se encuentran con frecuencia se incluyen:

A. Gravas

La grava es un material compuesto por fragmentos de roca de baja compactación, cuyas partículas presentan un diámetro superior a 2 mm, con un rango que oscila entre 2.00 mm y 7.62 cm (equivalente a 3 pulgadas). Si bien este tipo de suelo abarca una gran extensión superficial, en su composición habitualmente se encuentra una proporción variable de cantos rodados, arena,



limo y arcilla, lo que le confiere características granulométricas heterogéneas que deben ser consideradas en el análisis geotécnico del material (Ministerio de Transportes, 2013).

B. Arenas

La arena está constituida por partículas de granulometría fina, originadas a partir de la erosión natural o fragmentación artificial de rocas, cuyos diámetros se encuentran comprendidos entre 0.05 mm y 2.00 mm. Este material suele presentarse de manera conjunta con la grava, tal como ocurre con la arena de río, la cual generalmente contiene proporciones variables de grava de gran tamaño y arcilla en su composición. Desde el punto de vista de sus propiedades índice, la arena limpia se caracteriza por no experimentar contracción volumétrica en estado seco y por carecer de plasticidad, lo que la distingue de otros tipos de suelos de granulometría fina como el limo y la arcilla (Ministerio de Transportes, 2013).

C. Limos

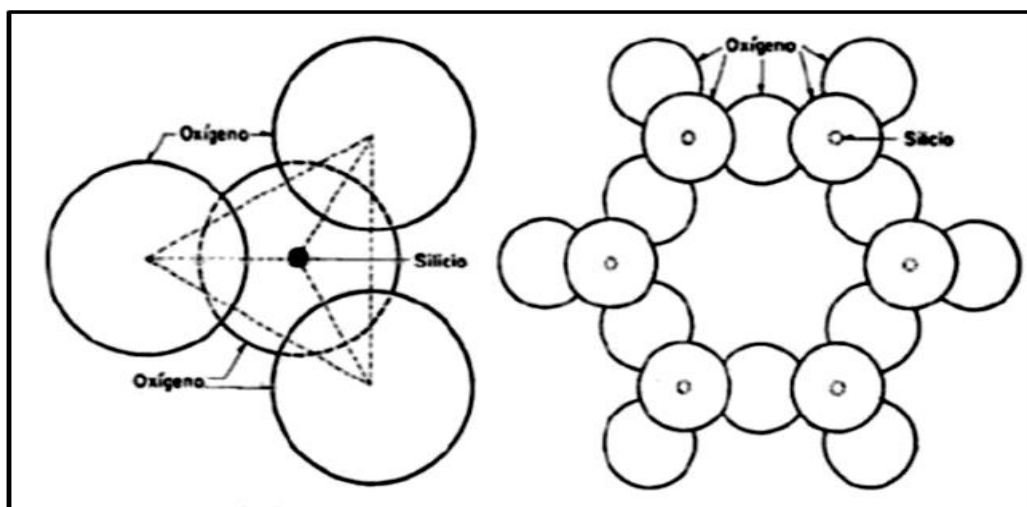
El limo es un tipo de suelo de granulometría fina que se caracteriza por presentar escasa o nula plasticidad, con partículas cuyo diámetro varía entre 0.005 mm y 0.05 mm. En función de su origen, este material puede clasificarse en dos categorías: el limo inorgánico, obtenido a partir de la explotación de canteras, y el limo orgánico, el cual se encuentra de manera frecuente en los lechos y márgenes de los ríos, producto de la acumulación y sedimentación de materiales finos transportados por el agua (Ministerio de Transportes, 2013).

D. Arcillas

La arcilla es un suelo cuyos granos sólidos presentan un diámetro inferior a 0.005 mm y adquieren consistencia plástica al entrar en contacto con el agua. Este tipo de material constituye una de las principales fuentes de sedimentos en la naturaleza, debido a que su composición está conformada predominantemente por silicatos de aluminio hidratado de origen químico, aunque en determinadas circunstancias también puede contener silicatos de hierro hidratado o silicatos de magnesio, compuestos que en conjunto forman la unidad estructural básica de los filosilicatos (Crespo Villalaz, 2004).

Figura 3

Componentes químicos presentes en la arcilla



Nota: (Juárez y Rico, 1973).

2.2.3. Clasificación de Suelos

La clasificación de suelos proporciona información de carácter cualitativo respecto a las propiedades mecánicas y el comportamiento geotécnico del material analizado. Si bien existen diversos sistemas de clasificación

desarrollados con este propósito, la presente investigación se enfocará en los dos sistemas más utilizados en la ingeniería geotécnica (Márquez, 2006).

- El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) fue desarrollado originalmente por Casagrande y posteriormente incorporado dentro de las normas establecidas por la ASTM (American Society for Testing and Materials), convirtiéndose en uno de los sistemas de clasificación geotécnica más ampliamente utilizados en la ingeniería civil a nivel mundial (Márquez, 2006).
- El sistema de clasificación AASHTO, desarrollado por la Asociación Americana de funcionarios de Carreteras Estatales y Transportes (American Association of State Highway and Transportation Officials), constituye uno de los métodos de clasificación de suelos más empleados en el ámbito de la ingeniería vial, siendo especialmente utilizado para evaluar la aptitud de los materiales destinados a la construcción de carreteras y estructuras de pavimento (Márquez, 2006).

A. Clasificación de ASTM (SUCS)

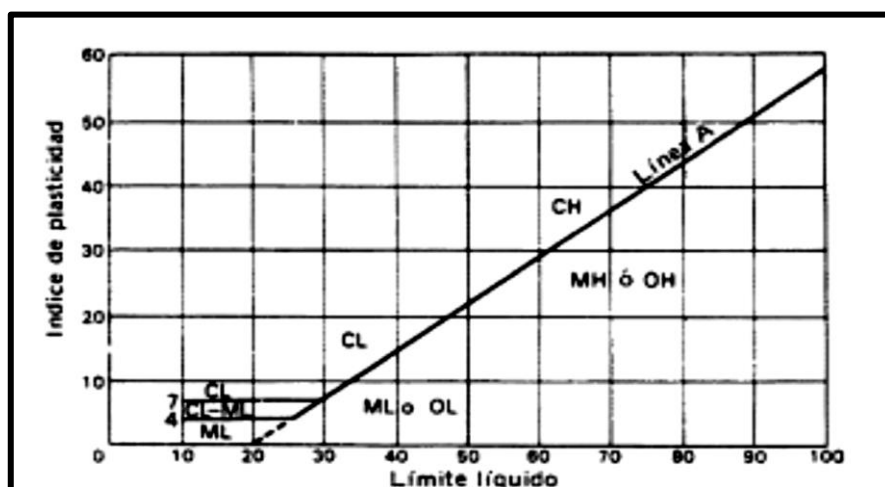
El contenido orgánico, el tamaño de las partículas, la homogeneidad y el límite de Atberg son los factores determinantes. A efectos de la clasificación, solo se tendrán en cuenta los materiales que puedan pasar por un tamiz de 3 pulgadas.

El suelo se clasifica como grueso o fino según el uso que el sistema haga del tamiz n.º 200 de la ASTM. Utilizando el tamiz n.º 4 (ASTM), el suelo de grano grueso puede clasificarse además como arena o grava.

Las gravas y arenas se subclasifican en limpias y sucias de acuerdo con el porcentaje de finos presentes en su composición, determinado a partir del material que pasa por el tamiz ASTM N°200. En el caso de las gravas y arenas limpias, su clasificación se establece en función de su gradación, distinguiéndose entre materiales bien gradados y mal gradados mediante el análisis de los coeficientes de curvatura (C_c) y de uniformidad (C_u). Por su parte, las gravas y arenas sucias son diferenciadas según el índice de plasticidad del material fino presente y su posición respecto a la línea A del ábaco de plasticidad de Casagrande, criterios que permiten determinar la naturaleza y comportamiento de los finos que las acompañan (Márquez, 2006).

Figura 4

Abaco de Plasticidad de Casagrande.



Nota: (Márquez, 2006).

Si el porcentaje de finos se sitúa entre el 5 % y el 12 %, o si el suelo se encuentra en la línea A del diagrama de plasticidad de Casagrande y el índice de plasticidad está entre 4 y 7, también se puede utilizar un símbolo doble para la grava y la arena. Cuando se cumplen estas condiciones, un conjunto de símbolos representará la grava o la arena limpia, mientras que el otro conjunto de símbolos representará la grava o la arena fina. Según José Javier Morales (2006, p. 15), la grava que tiene dos símbolos puede ser GC-GW, GM-GW, GC-GP o GM-GP. La arena que tiene un símbolo puede ser SC-SW, SM-SW, SC-SP o SM-SP.

Tabla 2

Categorización de suelos bajo los criterios de la norma ASTM

Descripción			Símbolos de grupo	Criterios de laboratorio			
				Finos (%)	Gradación	Plasticidad	Notas
Grano grueso (Más de 50% de tamaño mayor que la medida del tamiz No.200 (0.074 mm))	Gravas [Más de 50% de la fracción gruesa, es retenida por el tamiz n° 4 (4.76 mm)]	Gravas bien escalonadas, gravas arenosas, con escasos finos o sin ellos	GW	0 - 5	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}} < 3$		Símbolos duales si los finos van de 5 a 12%.
		Gravas pobremente escalonadas, arenosas, con escasos finos o sin ellos	GP	0 - 5			
		Gravas sedimentarias, gravas arenosas arcillosas	GM	> 12		Por debajo de la línea "A" o $I_p < 4$	
		Gravas arcillosas, gravas arenosas arcillosas	GC	> 12		Por encima de la línea "A" con $I_p > 7$	
	Arenas [Más de 50% de la fracción gruesa, pasa por el tamiz n° 4 (4.76 mm)]	Arenas bien escalonadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos	SW	0 - 5	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}} < 3$		Símbolos duales si están sobre la línea A, y $4 < I_p < 7$
		Arenas pobremente escalonadas, arenas con gravas, con pocos finos o sin ellos	SP	0 - 5			
		Arenas sedimentarias	SM	> 12		Por debajo de la línea "A" o $I_p < 4$	
		Arenas arcillosas	SC	> 12		Por encima de la línea "A" con $I_p > 7$	
Grano fino (Más de 50% de tamaño menor que la medida del tamiz No.200 (0.074 mm))	Sedimentos y arcillas (Límite líquido inferior a 50)	Sedimentos inorgánicos, arenas finas sedimentarias o arcillosas, con leve plasticidad	ML	Usar diagrama de plasticidad			
		Arcillas inorgánicas, sedimentarias, arenosas de baja plasticidad	CL	Usar diagrama de plasticidad			
		Sedimentos orgánicos y arcillas sedimentarias orgánicas de baja plasticidad	OL	Usar diagrama de plasticidad			
	Sedimentos y arcillas (Límite líquido superior a 50)	Sedimentos orgánicos de alta plasticidad	NH	Usar diagrama de plasticidad			
		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad	CH	Usar diagrama de plasticidad			
		Arcillas orgánicas de alta plasticidad	OH	Usar diagrama de plasticidad			
Suelos altamente orgánicos		Turba y suelos altamente orgánicos	Pe				

Nota: (Márquez, 2006).

La figura 4 muestra el diagrama de plasticidad de Casagrande, que se utiliza para clasificar los suelos de grano fino según el índice de plasticidad (IP) y el índice de limo (LL). La identificación del tipo de suelo es el primer paso para utilizar la información cualitativa del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, a partir de las distintas categorías de grupos de suelos, con el fin de evaluar la calidad del suelo y sus posibles usos.

Tabla 3

Evaluación geotécnica de suelos para su uso en proyectos de infraestructura vial

Tipo de suelo	Propiedades más importantes			Aptitud relativa para presas de tierra		
	Permeabilidad	Resistencia al corte	Compresibilidad	Homogéneas	Núcleo	Espaldones
GW	Permeable	Excelente	Despreciable	No apto	No apto	Buena
GP	Muy permeable	Buena	Despreciable	No apto	No apto	Buena
GM	Semipermeable a impermeable	Buena	Despreciable	Buena	Regular	No apto
Tipo de suelo	Propiedades más importantes			Aptitud relativa para presas de tierra		
	Permeabilidad	Resistencia al corte	Compresibilidad	Homogéneas	Núcleo	Espaldones
GC	Impermeable	Buena a regular	Muy baja	Buena	Buena	No apto
SW	Permeable	Excelente	Despreciable	No apto	No apto	Buena
SP	Permeable	Buena	Muy baja	No apto	No apto	Regular
SM	Semipermeable a impermeable	Buena	Baja	Regular	Regular	No apto
SC	Impermeable	Buena a regular	Baja	Buena	Buena	No apto
ML	Semipermeable a impermeable	Regular	Media	Regular	Regular	No apto
CL		Regular	Media	Regular	Buena	No apto
OL	Semipermeable a impermeable	Deficiente	Media	Mala	Mala	No apto
MH	Semipermeable a impermeable	Regular a deficiente	Elevada	Mala	Mala	No apto
CH	Impermeable	Deficiente	Elevada	Mala	Mala	No apto
OH	Impermeable	Deficiente	Elevada	Mala	Mala	No apto
Pt	-	-	-	-	No apto	No apto

Nota: (Márquez, 2006).

B. Clasificación de AASHTO.

Se utiliza con mayor frecuencia en la construcción de carreteras o en los movimientos de tierra de las vías. El sistema clasifica el suelo en siete categorías principales y múltiples subcategorías. Los ensayos que es necesario realizar incluyen el análisis granulométrico mediante tamices ASTM de 10, 40 y 200, la determinación del límite de Atberg y el cálculo del índice de grupo (GI), que es un valor entero comprendido entre 0 y 20 y que se determina mediante la siguiente fórmula empírica:

$$IG = (F-35) (0.2+0.005(LL-40)) + 0.01(F-15) (PI-10)$$

En la cual:

- F: % que pasa la maya N° 200.
- LL: L. líquido.
- PI: I. de plasticidad.

El índice de grupo es un parámetro que permite evaluar la aptitud de un suelo para ser utilizado en trabajos de movimiento de tierras, estableciendo que, a menor valor del índice, mejores serán las condiciones del material. El sistema de clasificación AASHTO emplea la letra A acompañada de un número del 1 al 7, al cual puede adicionarse un índice complementario. La calidad geotécnica del suelo presenta una relación inversamente proporcional con el valor del índice asignado, de modo que los suelos clasificados como A-1 poseen mejores características que los correspondientes a A-2, y así sucesivamente hasta llegar a los suelos de menor aptitud para la construcción vial.



El mismo criterio aplica para el segundo índice de clasificación. La distinción entre suelos granulares y suelos arcillosos limosos se establece en función de la proporción de material que atraviesa el tamiz N°200 de la ASTM. De este modo, los suelos cuya fracción fina representa un porcentaje igual o inferior al 35% son clasificados como granulares, mientras que aquellos en los que dicha proporción supera el 35% son considerados como suelos arcillosos o limosos, caracterizados por un comportamiento geotécnico más desfavorable para su uso en infraestructura vial.

Para determinar la clasificación del suelo, se deben analizar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, procediendo de izquierda a derecha en la tabla de clasificación. El grupo al que pertenece el suelo analizado corresponderá al primer grupo, desde la izquierda, cuyos criterios sean plenamente compatibles con los resultados de los ensayos realizados.

Tipos de suelo que establece el sistema son:

- A-1-a: Principalmente gravas con o sin partículas finas de granulometrías bien definidas.
- A-1-b: Arena con o sin partículas finas de granulometrías bien definidas.
- A-2-4: Materiales granulares con partículas finas limosas.
- A-2-5: Intermedio.
- A-2-6: Materiales granulares con partículas finas arcillosas.
- A-2-7: Intermedio.
- A-3: Arena de granulometría deficiente que casi no contiene partículas finas ni gravas.

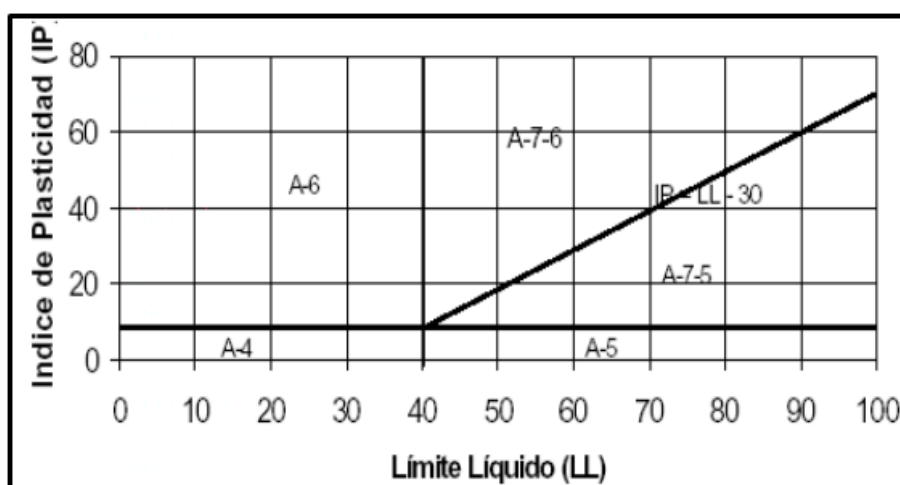
- A-4: Principalmente partículas finas limosas.
- A-5: Tipos de suelos poco frecuentes que contienen partículas finas limosas, generalmente elásticas y difíciles de compactar.
- A-6: Contienen partículas finas limosas o arcillosas con un límite líquido bajo.
- A-7-5: Las arcillas y limos más plásticos.
- A-7-6: Las arcillas y limos más plásticos.

Para llevar a cabo la clasificación de los suelos correspondientes a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, es necesario conocer previamente el índice de plasticidad (IP) y el límite líquido (LL) del material, valores a partir de los cuales se debe recurrir al gráfico de clasificación establecido para tal fin.

Además, los resultados indican que estos materiales presentan un nivel de flexibilidad excepcionalmente alto, con valores de IP y LL superiores al 40 %.

Figura 5

Clasificación geotécnica de materiales de textura fina bajo los parámetros del sistema AASHTO



Nota: (Márquez, 2006).

Tabla 4

Evaluación y clasificación de materiales geotécnicos para carreteras de acuerdo con la normativa AASHTO

Clasificación general		Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz N.200)							Materiales limo-arcillosos (más de 35% pasa el tamiz N.º200)				
Clasificación de grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7		
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5		
											A-7-6		
Tamizado % que pasa													
N.º10 (2.00 mm)		50 máx.	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
N.º40 (425 µm)		30 máx.	50 máx.	51 mín.	----	----	----	----	----	----	----	----	
N.º200 (75 µm)		15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Consistencia													
Límite Líquido		---		---		40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad		6 máx		N.P.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos de materiales característicos		Grava y arena		Arena fina		Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación		Excelente a bueno							Regular a malo				

Nota: (Márquez, 2006).

2.2.4. Especificaciones técnicas para la estabilización de suelos

La estabilidad del suelo incluye la resistencia mecánica y la persistencia de estas propiedades a lo largo del tiempo; según la distribución granulométrica, los materiales reciclados a los que no se les haya añadido material granular o un aglutinante no podrán cumplir las normas establecidas por el MTC. Existe una amplia variedad de métodos disponibles, entre los que se incluyen el uso de tipos de suelo adicionales y la incorporación de estabilizadores. El proceso de



compactación siempre sigue al procedimiento de estabilización. (Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013).

2.2.4.1. Criterios Geotécnicos para Establecer la Estabilización

- A. Es importante considerar que los suelos sometidos al proceso de estabilización deben contener un porcentaje mínimo del 5% de arcilla en su composición, condición necesaria para garantizar una adecuada interacción entre el material y los agentes estabilizadores aplicados.
- B. Se debe considerar que la extracción de material de corte no deberá exceder una profundidad máxima de 0.35 m, dado que a partir de dicha profundidad existe la posibilidad de encontrar material de lastre o residuos provenientes de demoliciones, los cuales podrían comprometer la calidad y homogeneidad del suelo destinado al proceso de estabilización.
- C. Con la finalidad de definir el método de estabilización más adecuado, resulta indispensable identificar previamente el tipo de suelo presente en la zona de intervención. Los suelos predominantes identificados en el área de estudio son los siguientes:
 - Limos
 - Arcillas
 - Arenas limosas
 - Arenas arcillosas

D. Para elegir la mejor técnica de estabilización hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Caracterización y clasificación del suelo susceptible de estabilización.
- Finalidad y aplicación prevista del suelo una vez estabilizado.
- Selección del agente o aditivo estabilizador más adecuado para el tipo de suelo.
- Antecedentes técnicos y experiencia acumulada en la modalidad de estabilización a implementar.
- Disponibilidad y acceso al equipamiento necesario para la ejecución del proceso.
- Análisis y evaluación comparativa de costos entre las alternativas de estabilización disponibles.

E. Criterios para la elección del estabilizador adecuado, con especial atención a los factores propios de los distintos tipos de suelo (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES, 2013).

2.2.5. Especificaciones técnicas generales para estabilización (EG – 2013)

2.2.5.1. Tipos de Estabilización

De acuerdo con el Profesor Dr. Hans Winterkorn, referenciado por Hsai-Yang (1991), es posible identificar tres categorías distintas de estabilización de suelos, las cuales se describen a continuación (Meléndez, 2005).

- Estabilización Mecánica
- Estabilización física o granular
- Estabilización física química

2.2.5.2. Estabilización Mecánica

En entornos más convencionales, cuando los materiales tienen un contenido de humedad ideal y se utiliza maquinaria pesada para reducir la cantidad de huecos (esponjosidad), se suele recurrir a este método de estabilización.

A. Compactación de Suelos

La compactación del suelo es definida como un proceso de naturaleza mecánica orientado a mejorar las propiedades de resistencia, compresibilidad y comportamiento tensión-deformación del material. Se trata de un proceso de carácter artificial, mediante el cual se reduce el índice de vacíos del suelo, forzando a sus partículas a establecer un mayor contacto entre sí, lo que se logra a través de la aplicación de medios mecánicos. Esta etapa representa la fase inicial del proceso de estabilización del suelo, y su objetivo primordial es conferir al material una estructura adecuada que le permita adquirir y mantener las propiedades mecánicas necesarias a lo largo de toda su vida útil. Entre los factores que ejercen mayor influencia sobre el proceso de compactación del suelo se destacan los siguientes (Rico y Del Castillo, 1995).

- La naturaleza del suelo:
- El método de compactación:

- La energía específica.
- El contenido de agua original del suelo:
- La temperatura

2.2.5.3. Estabilización Física o Granular

Con el fin de mejorar la calidad del suelo, se utiliza para provocar transformaciones físicas como:

La mezcla del suelo es un método de estabilización habitual, pero siempre requiere la compactación como paso complementario, ya que sin ella no se consigue el efecto deseado. La grava y la arena son ejemplos de suelos de grano grueso con alta fricción interna y excelente resistencia a la tensión. Sin embargo, no son adecuados para su uso como capa base de carreteras debido a la falta de partículas cohesivas que les permitan moverse libremente y a la posible separación o desplazamiento de las partículas del firme causado por los vehículos. Por el contrario, las arcillas pueden volverse inestables en entornos con exceso de agua debido a su baja fricción y gran cohesión.

La combinación proporcional y adecuada de dos tipos de suelo distintos puede dar lugar a un material de mayor estabilidad geotécnica, en el cual se aprovechan de manera complementaria las propiedades de ambos componentes: la elevada fricción interna característica de uno de los materiales y la cohesión propia del otro, actuando conjuntamente para mantener las partículas unidas y garantizar la integridad estructural del suelo resultante (Valle Áreas, 2010).



2.2.5.4. Estabilización Química

Esto se refiere principalmente al uso de determinados compuestos patentados, cuya aplicación provoca cambios en la composición del suelo al sustituir iones metálicos. Los dos compuestos más habituales en esta categoría estable son la cal y el cemento.

La cal, económica y eficaz, reduce la plasticidad de los suelos arcillosos.

Para la arena y la grava fina, el cemento Portland es el material más adecuado, ya que aumenta la resistencia del suelo. Además, otros materiales que se utilizan incluyen:

- Cloruro de sodio: Actúa como agente impermeabilizante y supresor de polvo en el suelo, siendo especialmente efectivo en materiales de composición arcillosa y limosa.
- Productos asfálticos: Corresponden a emulsiones ampliamente empleadas en el tratamiento de materiales no cohesivos, facilitando su trituración y mejorando su comportamiento estructural.
- Escorias de fundición: Son utilizadas frecuentemente sobre pavimentos asfálticos con el propósito de incrementar su resistencia mecánica, mejorar su impermeabilidad ante la acción del agua y prolongar considerablemente su vida útil.

- Cloruro de calcio: Funciona como agente impermeabilizante y reductor de polvo en el suelo, resultando particularmente eficaz en materiales de naturaleza arcillosa y limosa.
- Caucho de neumáticos: Es empleado habitualmente en la conformación de pavimentos asfálticos, con la finalidad de incrementar su resistencia mecánica, mejorar su comportamiento frente a la acción del agua y extender su período de vida útil.
- Polímeros: Constituyen un material de uso frecuente en carpetas asfálticas, cuya incorporación permite otorgar mayor resistencia estructural a la mezcla, garantizar su impermeabilización y prolongar significativamente su durabilidad en servicio (Valle Áreas, 2010).

Figura 6

Estabilización química



A. Estabilización por Ionización

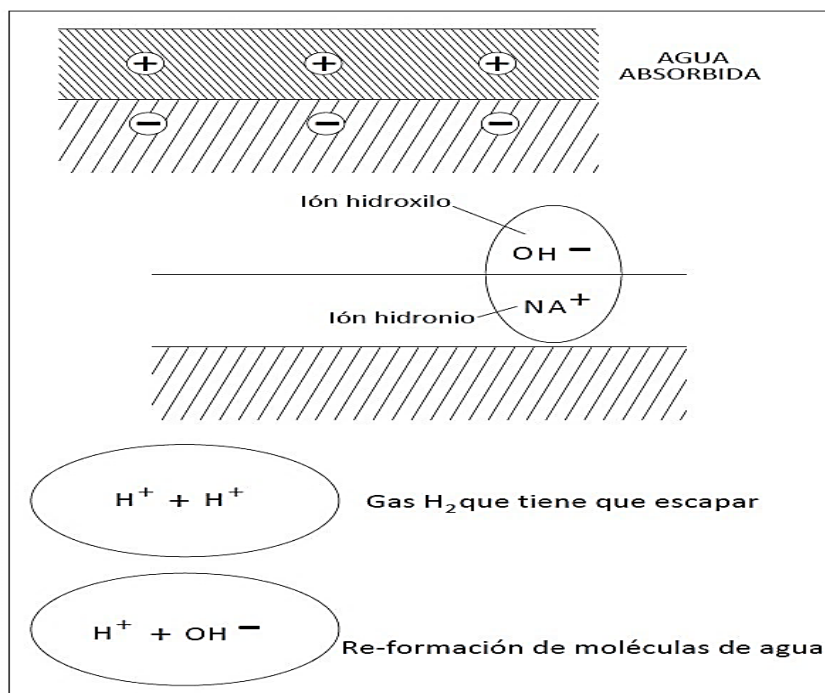
La ionización constituye un proceso de naturaleza química o física mediante el cual se generan iones, es decir, átomos o moléculas que adquieren

una carga eléctrica como consecuencia de un desequilibrio en su número de electrones respecto a su estado neutro. Cuando una sustancia presenta un exceso de electrones en relación con su estado neutral, recibe la denominación de anión, caracterizándose por poseer una carga neta negativa; por el contrario, aquellas sustancias que presentan una deficiencia de electrones son denominadas cationes, los cuales exhiben una carga neta positiva. Cabe señalar que existen diversos mecanismos a través de los cuales es posible formar átomos o iones moleculares, cada uno con características y condiciones particulares según el proceso empleado (Castillo Briceño, 2018).

Como se observa en la figura 7, en algunos procesos químicos la ionización puede producirse mediante la transferencia de cationes.

Figura 7

Reacción Química por Ionización.



Nota: (Castillo, 2018).

Dado que puede mejorar los siguientes aspectos, la intercambiabilidad es fundamental:

- Influye en la formación de la estructura y la estabilidad del agregado, ya que interviene en el proceso de floculación y en la distribución de la arcilla.
- Determina la función del suelo como filtro natural al retener los contaminantes en su interior.

2.2.6. Especificaciones técnicas de la norma MTC 301.C para la estabilización química de suelos en vías afirmadas

2.2.6.1. Descripción 301.C.01

Esta norma comprende la ejecución de una o más capas de suelo tratado mediante estabilización química, cuya construcción deberá realizarse en estricta conformidad con las especificaciones técnicas establecidas, así como con las dimensiones, trazados y secciones transversales definidas en el expediente técnico del proyecto (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

2.2.6.2. Suelo 301.C..02

Algunos ejemplos de materiales que pueden utilizarse para crear suelo estabilizado químicamente son determinados materiales, tierra suelta procedente de una capa existente en la superficie o incluso suelo natural procedente de:

- Excavaciones o zonas de préstamo.
- Agregados locales.

- Mezclas de ellos.

Todos los materiales utilizados en el hormigón deben cumplir determinadas normas y estar libres de cualquier sustancia orgánica u otros contaminantes que puedan afectar al proceso de mezcla o al tiempo de fraguado del hormigón:

a) Granulometría (Agregados).

La granulometría del material susceptible de estabilización puede corresponder a los grupos de suelos A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 según la clasificación AASHTO. Asimismo, se establece como requisito indispensable que el tamaño máximo de partícula no exceda los 5 cm (equivalente a 2 pulgadas) o, en su defecto, no supere el tercio del espesor de la capa compactada, tomándose como referencia el valor más restrictivo entre ambos criterios.

b) Plasticidad

El límite líquido y el índice de plasticidad de la fracción de tamiz de 425 mm (n.º 40) deben situarse dentro de los intervalos especificados, de conformidad con las normas de ensayo MTC E 110 y E 111.

c) Composición química

El contenido de sulfatos presente en el suelo, expresado en términos de SO_4^{2-} , deberá mantenerse por debajo del límite máximo permitido de 0.2% en relación al peso total del material, condición indispensable para garantizar la compatibilidad del suelo con los agentes estabilizadores a emplear.

d) Abrasión

El árido grueso (máquina de Los Ángeles) MTC E 207 no debe presentar un desgaste por abrasión superior al 50 % para que el material estable pueda utilizarse en la creación de una capa estructural.

e) Solidez

En el ensayo con sulfato de magnesio, la pérdida de áridos gruesos no puede superar el 18 % y la pérdida de áridos finos no puede superar el 15 % si el material estabilizador se encuentra a una altitud de 3 000 metros sobre el nivel del mar y forma una capa estructural.

2.2.6.3. Productos químicos 301.C.03

Existe una amplia variedad de estabilizadores de origen químico u orgánico, obtenidos a través de procesos de fabricación industrial, que resultan aptos para su aplicación en capas afirmadas, mejoramiento de suelos y otras obras viales, debiendo seleccionarse en función de la ubicación geográfica, las condiciones climáticas y las características propias de los materiales predominantes en la vía. Los productos empleados deberán ser dosificados conforme a un diseño de mezcla de tipo híbrido, previamente aprobado por el supervisor de obra y certificado por el fabricante en cuanto a su eficacia, modo de uso, procedimiento de preparación y fecha de vencimiento. Asimismo, se deberá garantizar que la aplicación de dichos productos no genere riesgos de contaminación ambiental ni represente amenaza alguna para la salud de los



seres vivos involucrados en el entorno de la obra (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

a) Agua

El agua debe ser pura y estar libre de cualquier compuesto peligroso, como los álcalis. Su pH debe situarse entre 5,5 y 8,0, de acuerdo con la norma NTP 339.073. La norma NTP 339.074 se utiliza para determinar el contenido de sulfatos, que se expresa como SO_4 . Más de tres mil partes por millón, según indica la norma NTP 339.072. Por regla general, los controles de certificación mencionados anteriormente no suelen ser necesarios para el agua potable (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013, p. 274).

b) Compactación

En el caso de los materiales enumerados en el apartado 301.a.13, la compactación mínima necesaria es igual a la densidad máxima alcanzada en el ensayo de control modificado, que es del 100 %. El suelo, la vegetación y las fuentes de agua de la zona circundante al lugar de compactación son vulnerables a la contaminación, por lo que deben tomarse todas las precauciones necesarias para evitar fugas de material durante esta operación. En el artículo 209 deben incluirse los residuos de esta acción, así como de las dos actividades que la precedieron.

c) Curado

Es necesario dejar reposar cualquier capa de suelo de cal compactado durante al menos 72 horas tras su finalización para mantener la humedad de la superficie (Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013).

2.2.7. Especificaciones mínimas para subbase granular

Los áridos de la subbase granular deben cumplir las especificaciones que figuran en las siguientes tablas, derivadas de la norma Eg-2013.

Tabla 5

Requerimientos granulométricos para Subbase granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm. (3/8 ")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Nota: (MTC, 2013)).

- En las zonas situadas a una altitud mínima de tres mil metros sobre el nivel del mar es obligatorio utilizar materiales de categoría A.

Además, el material debe estar a la altura en cuanto a calidad.

Tabla 6

Requerimiento de Ensayos Especiales

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	-.-	-.-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	-.-	D 4791	-.-	20% máx.	20% máx.

Nota: (MTC, 2013).

- cuando la penetración de la carga es de 0,1" (2,5 mm) y la densidad máxima en seco es del 100 %.
- 1/3 (grosor/longitud) es la proporción adecuada que se debe utilizar para el cálculo.

Para evitar la segregación y garantizar el nivel necesario de compactación y resistencia, el material del contratista debe presentar una curva de distribución granulométrica uniforme que discorra, en general, en paralelo al borde del tamiz, sin cambios bruscos entre la parte superior de un tamiz y la parte inferior de otro, o viceversa.

2.2.8. Valorización y reincorporación de residuos de construcción y demolición en la ejecución de obras viales

La situación actual en Juliaca es que las calles sin asfaltar de la ciudad se inundan cuando llueve, lo que preocupa a la población local. La única opción es cubrir las calles con grava u otros materiales disponibles en la zona, incluidos los residuos de construcción y demolición (RCD).

La problemática asociada al inadecuado manejo de materiales de construcción y demolición se ha extendido de manera generalizada no solo en la ciudad de Juliaca, sino en diversas ciudades del país, evidenciando la falta de mejora en la calidad urbano-vial para la población y los usuarios. Ante esta situación, surge como alternativa viable la reutilización de residuos reciclados provenientes de actividades de construcción y demolición. En este sentido, los países desarrollados han impulsado el aprovechamiento de los Residuos de Construcción y Demolición para Obras Viales (RCDOV), planteando su



incorporación en la conformación de la carpeta de rodadura, ya sea como sustituto parcial o total de los agregados vírgenes extraídos de canteras, como es el caso de la cantera Taparachi en nuestra región. Esta alternativa persigue una doble finalidad: por un lado, reducir la explotación de recursos naturales provenientes de canteras y, por otro, disminuir los costos asociados a la ejecución de obras viales por administración directa, contribuyendo así a una gestión más sostenible y económica de la infraestructura vial.

En el material citado y comentado de: (FLOR CHÁVEZ, 2012) se afirma que: Numerosos países han reconocido la importancia y las ventajas del RCDOV mediante el establecimiento de normas, legislación o recomendaciones para su uso; entre ellos se encuentran Estados Unidos, Bélgica, los Países Bajos, Japón y el Reino Unido. La base y la subbase granulares de las carreteras, el hormigón estructural y otros productos similares pueden beneficiarse del uso de los residuos de construcción y demolición como áridos. A partir de la información proporcionada, que en algunos casos se remonta a unos veinte años atrás, se puede concluir que los materiales procedentes de residuos de construcción y demolición son aptos para su uso como subbase en estructuras de pavimentos, ya que tienen la capacidad de carga necesaria para tal fin.

A escala mundial, España destaca como ejemplo. En 2001, el país puso en marcha el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD 2001-2006) con el fin de aumentar el uso de materiales reciclados en la fabricación. Casi el 60 % del material es hormigón. Como parte del Plan Nacional Integral de Residuos (PNIR 2008-2015), se está desarrollando actualmente el segundo Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (II PNRCD



2007-2015), que incluye alrededor de 200 plantas de reciclaje. Reducir los residuos de construcción y demolición (RCD), cerrar los vertederos inadecuados, gestionar y controlar el 95 % de los RCD y reciclar el 40 % de los RCD a partir de 2011 (FLOR CHÁVEZ, 2012).

Es importante destacar que España, a través de su normativa EHE (2008), ha promovido el empleo de agregado grueso reciclado en hormigones con exigencias de resistencia estructural, autorizando la incorporación de hasta un 20% de árido grueso reciclado como reemplazo del agregado grueso de origen natural. Tomando como referencia estos avances internacionales en la implementación de nuevas tecnologías para los procesos constructivos en infraestructura vial, se promueve en nuestro contexto el aprovechamiento de materiales reciclados conformados por diferentes tipos de suelos, los cuales podrán ser empleados en la conformación de capas de subbase granular, en concordancia con los lineamientos establecidos en el manual de carreteras (Flor Chávez, 2012).

Ahora que conocemos todos los datos, podemos ver que otros países utilizan estas tecnologías para construir capas de pavimento o incluso simplemente como componentes estructurales. Esto se debe a que contienen una gran cantidad de material granular, lo que ayuda a reducir los costes de construcción.

2.2.8.1. Empleo y disposición final del material de corte generado en la construcción de obras viales

Según la Green Highway Partnership, una red público-privada de Estados Unidos dedicada a la innovación en el transporte sostenible, las carreteras y su construcción consumen entre 50 y 800 millones de toneladas métricas de áridos al año. A pesar de los avances sustanciales logrados en la reducción del impacto medioambiental gracias al reciclaje de residuos de construcción y demolición para la construcción de carreteras, siguen existiendo importantes obstáculos. El uso de materiales reciclados, en contraposición a estos materiales no renovables, es deseable para aliviar la presión sobre las reservas limitadas de recursos naturales (1965).

La reutilización de residuos industriales reduce aún más el impacto medioambiental, al disminuir la extracción de materias primas y la producción intensiva de nuevos productos. Por ejemplo, según CLAUSON (2015), una forma de reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con el cemento es utilizar cenizas volantes en lugar de cemento Portland en el hormigón.

El uso de materiales industriales también reporta beneficios económicos a las partes interesadas, los propietarios y los contratistas de proyectos de infraestructura. Según la Encuesta de Población Activa de la EPA, el reciclaje o la reutilización de materiales in situ puede suponer un ahorro en los costes de transporte y eliminación, y los subproductos industriales suelen ser más baratos que las materias primas a las que sustituyen (CLAUSON, 2015).

Según los especialistas en la materia, muchos materiales reciclados superan a sus equivalentes originales en cuanto a rendimiento. Por ejemplo, el uso de escoria de acero como árido en el asfalto para carreteras mejora la seguridad vial al aumentar la fricción de la superficie. Una forma de prolongar la vida útil del hormigón es utilizar cenizas volantes en lugar de parte del cemento Portland. Todavía existen aplicaciones para los neumáticos de caucho reciclados. Por ejemplo, pueden utilizarse como modificadores del ligante del asfalto en lugar de polímeros. Esto hace que las carreteras sean menos ruidosas y menos propensas a romperse, lo cual es excelente para la reutilización de residuos industriales. Este texto procede de: (CLAUSON, 2015).

En la mayoría de los países que permiten el uso de materiales reciclados en la construcción de carreteras, existen normas estrictas que regulan el contenido mínimo de áridos, los niveles máximos de impurezas y el cumplimiento de los criterios aplicables a los áridos naturales. Su uso en una capa granular sin tratar podría reducir inicialmente su capacidad portante debido a problemas de compactación, pero a largo plazo suele alcanzar o incluso superar la capacidad portante de otros materiales granulares. Esto hará que sea menos poroso. Un ejemplo es el hecho de que el hormigón triturado representa entre tres cuartas partes y tres cuartas partes de la producción total de Francia (CEDEX, 2011).

2.2.8.2. Procedencia y generación de residuos de construcción y demolición destinados a obras viales

Estos residuos pueden estar compuestos por una amplia variedad de materiales, dependiendo del tipo de proyecto (Mercante, 2007, p. 23). En términos generales, en el sector de la construcción, se identifican los siguientes

materiales como parte de la categoría de residuos de construcción y demolición (ESCANDÓN MEJÍA, 2011, p. 9). Dados los retos a los que se enfrentan los proyectos de construcción de gestión directa en nuestra ciudad de Juliaca en lo que respecta a la retirada de materiales mediante maquinaria, estos materiales suelen proceder de escombros de construcción y demolición, así como de material granular añadido a las carreteras para la formación empírica de la plataforma.

- Concreto sin refuerzo (Acero)
- Mezclas asfálticas - Ladrillo
- Mezclas de cemento y cal
- Restos de concreto mezclado
- Tierra limpia
- Tejas cerámicas - Vidrios
- Maderas
- Porcelanas (incluye artefactos sanitarios)
- Papel y cartón
- Revestimientos

Existen dos tipos de residuos de construcción y demolición (RCD): los residuos especiales y los residuos no peligrosos o no especiales. En este contexto, «especial» se refiere a cualquier tipo de residuo o sustancia que requiera un cuidado especial durante su manipulación y almacenamiento debido

a su posible toxicidad, inflamabilidad, corrosividad, irritación o carcinogenicidad. Cualquier elemento que no sea ni singular ni peligroso puede almacenarse en cualquier lugar, procesarse y reciclarse utilizando procedimientos industriales estándar. Mercante (2007) cita a Escandon Meja (2011), página 10.

2.2.8.3. Caracterización y agrupación de residuos de corte y eliminación generados en la construcción de obras viales

En principio, podemos utilizar las normas técnicas brasileñas para la clasificación de los residuos de construcción y demolición con el fin de regular su uso en nuestro país. La gestión y ejecución de proyectos mediante administración directa y/o contratación debería facilitarse en el futuro con la aplicación de directrices que fomenten el uso de materiales reciclados. Los áridos reciclados utilizados en proyectos de construcción pueden clasificarse en:

Clase A; Residuos reciclable o reutilizable, como:

- Reparaciones y mantenimiento de edificios, pavimentación, demolición y otros proyectos de infraestructura, incluida la tierra excavada;
- El proceso de preparación de un proyecto implica la retirada y el desmontaje de elementos de hormigón, como tuberías, bloques, bordillos y otros elementos que se generan durante la construcción.
- Los materiales cerámicos (por ejemplo, bloques, ladrillos, suelos, tejas, etc.), el hormigón y el mortero son ejemplos de residuos procedentes de la construcción, la demolición, la restauración y el mantenimiento de edificios.

Clase B; Materiales como el yeso son ejemplos de este tipo de residuos, ya que no son reciclables o no pueden reciclarse de forma práctica o asequible.

Clase C; Los residuos de clase I, según la norma NBR 10004, incluyen contaminantes procedentes de obras de demolición, remodelación y mantenimiento, así como residuos peligrosos generados por actividades de construcción (como disolventes, aceites, pinturas, etc.) y por instalaciones industriales, centros de radiología y otros lugares similares. Este pasaje está extraído de: (Bach. K'Arlita Beatriz Contreras Quezada y Bach. Víctor Alfonso Herrera Lázaro, 2015, p. 22)).

Figura 8

Escombros de demolición de veredas antigua



Las especificaciones del manual de carreteras han dado lugar a numerosas investigaciones sobre las cualidades de los áridos reciclados procedentes de la demolición de viviendas, combinados con materiales granulares y de origen natural (arcilla, limo, arena fina). Si se añadiera a estos áridos algún material grueso u hormigón, cumplirían los criterios de ensayo de Los Ángeles. Sin embargo, cuando se utiliza maquinaria pesada para mover los



áridos de demolición, es necesario abordar los procesos de trituración, ya que estos incluyen partículas de más de 5 centímetros.

2.2.9. Aditivo CON-AID

El ingrediente activo es un aceite sulfonado, que se utiliza como estabilizador iónico del suelo bajo el nombre de Con-Aid. Este aceite sulfonado une de forma permanente las moléculas estabilizadoras a las partículas de arcilla al actuar como tensioactivo, un material que interactúa con las superficies. En los minerales arcillosos, actúa como agente dispersante del agua (TDM, 2011).

Los minerales arcillosos pueden hacerse repelentes al agua sometiendo los materiales tratados a la reacción química que proporciona Con-Aid. Tras la reacción, el resultado final puede describirse de las siguientes maneras:

- Disminución del edema (entre el 50 % y el 100 %)).
- Reducción del IP, mediante la reducción de L.L (entre un 15 a un 40%).
- Aumento de la Ds.max. (entre 3 a 5%).
- Aumento de CBR:
 - A2: 70 a 100%
 - A4:100%
 - A6: 200 a 300%
 - A7: 300 a 500%

El distribuidor peruano facilita los parámetros técnicos para tener en cuenta la gran variedad de tipos de suelo que hay en el país.

2.2.9.1. Estabilización iónica del aditivo Con – Aid.

El intercambio iónico forzado, mecanismo mediante el cual Con-Aid alcanza su estabilidad iónica o electroquímica, puede mejorar las propiedades mecánicas de las partículas de arcilla al disminuir su plasticidad y hinchamiento y al reducir la cantidad de agua que se ha «adsorbido» en ellas. Las moléculas fuertes de los estabilizadores pueden sustituir de forma permanente a los cationes débiles, como los del agua y otros metales, al disociarlos. Y ahora las moléculas de CON-AID pueden ocupar esos sitios iónicos vacíos en la superficie de la arcilla.

Por su parte, las cadenas hidrofóbicas de las moléculas del aditivo se orientan hacia el exterior de la superficie de los minerales arcillosos, generando una cobertura sobre los poros y capilares de la matriz del suelo. Como consecuencia de este fenómeno, el agua que ingresa al sistema pasa a comportarse como agua libre, pudiendo ser evacuada con mayor facilidad mediante procesos de evaporación, compactación o por acción de la gravedad. De este modo, el tratamiento con el aditivo CON-AID proporciona la acción electroquímica necesaria para repeler eficazmente el agua de los minerales arcillosos, mejorando significativamente las propiedades de impermeabilidad y estabilidad del suelo tratado (Claudia Diez, 2014).

- a) El proceso de compactación se facilita al mejorar la trabajabilidad del suelo.

- b) b) La estabilización a largo plazo de las partículas de arcilla. Las partículas (y el suelo que hay debajo de ellas) pierden agua por evaporación y reacciones iónicas. La compactación es necesaria para que se produzca el proceso de intercambio iónico. La capacidad del suelo para soportar más peso, tanto de forma natural como a causa del tráfico, mejorará a medida que el proceso químico vaya llegando a su fin y las partículas de minerales arcillosos se unan firmemente entre sí. Cita: (CLAUDIA DIEZ, 2014).

2.2.9.2. Criterios normativos y especificaciones técnicas para la aplicación del estabilizador iónico CON-AID en suelos

Al construir una o más capas de suelo estabilizado químicamente, es importante cumplir con las normas técnicas establecidas en la sección 301.C de la Norma MTC, Normativa para suelos estabilizados químicamente. Además, asegúrese de respetar las dimensiones, la alineación y la sección transversal específicas del proyecto. Esto se hace para garantizar que el proceso de estabilización se ajuste a las especificaciones y cumpla con las normas técnicas, tales como MTC, ASTM D-422, ASTM D-1557 y ASTM D-1883, teniendo en cuenta al mismo tiempo las especificaciones del aditivo:

- Ausencia de propiedades corrosivas en su composición.
- Carácter no inflamable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento.



- Inocuidad comprobada, sin presencia de componentes tóxicos.
- Clasificado como producto no peligroso para su manipulación y aplicación.
- Composición biodegradable, compatible con el entorno ambiental.
- Contenido mínimo de sólidos del 24% (determinado a una temperatura de 110°C).
- Porcentaje mínimo de aniónico activo del 23% (evaluado mediante el Método Hyamine).
- Valor de pH de 0.45 ± 0.15 , garantizando su condición no corrosiva a dilución de trabajo.
- Peso específico a 25°C equivalente a 1.03 ± 0.005 .
- Viscosidad a 25°C de 750 ± 100 unidades, asegurando una adecuada fluidez durante su aplicación.

Almacenamiento:

- Guarda el envase en un lugar seco, protegido de la luz solar directa.

Envases: Botes de polipropileno. No es necesario usar mascarilla. El producto es seguro; si entra en contacto con los ojos, basta con aclararlos con agua.

Seguridad y Manejo:

- Evitar el contacto con los ojos.

Información Adicional:

- Impacto ambiental: Producto de carácter ecológico, libre de componentes tóxicos y con capacidad de biodegradación natural.
- Vida útil: Período de vencimiento de 48 meses contabilizados a partir de la fecha de su elaboración.
- Resistencia climática: Deberá mantener su eficacia ante variaciones bruscas de temperatura, condiciones de alta pluviosidad en zonas de altura y exposición a fenómenos de helada.
- Rango de aplicación: Su uso es viable en todo tipo de suelos arcillosos, así como en aquellos que presenten un contenido mínimo del 5% de fracción arcillosa en su composición.
- Solubilidad: Producto soluble en agua, sin generar reacciones químicas adversas durante su dilución y aplicación (TDM, 2011).

2.2.9.3. Especificaciones técnicas del producto

Con el fin de garantizar el uso correcto de los materiales, cuyas propiedades físicas y químicas se detallan a continuación, el presente documento establece los criterios y procesos que deben respetarse en este proyecto de investigación.

Se estudiarán nuestros suelos primarios (suelos con características naturales) para determinar su curva de distribución granulométrica y su índice de plasticidad, de acuerdo con la bibliografía existente sobre la estabilización

mediante el uso de Con-Aid. Esto nos ayudará a definir la estabilización adecuada de los suelos reciclados y los materiales convencionales. Este proyecto de investigación tiene como objetivo estabilizar un material que se reutilizará para mitigar y reducir los costes en proyectos de ingeniería vial. Utilizará y aplicará las técnicas ofrecidas como propuesta de diseño por el proveedor del aditivo y las especificaciones mínimas establecidas por el MTC.

Tecnología: Sistema enzimático.

- Efecto sobre los minerales arcillosos: Su acción sobre la estructura de las partículas arcillosas genera una disminución en la plasticidad y la permeabilidad del suelo, al tiempo que incrementa la densidad del material y mejora su relación de soporte (CBR).
- Comportamiento y características: Actúa mediante la reacción con las partículas de arcilla, promoviendo el intercambio iónico y generando efectos electroquímicos en el suelo. Adicionalmente, reduce la tensión superficial del material y favorece la degradación enzimática de la materia orgánica presente en el suelo.
- Naturaleza: Producto de origen natural basado en tecnología de fermentación vegetal, presentado en estado líquido para su fácil manejo y aplicación.
- Rango de aplicación: Compatible con una amplia variedad de suelos naturales, incluyendo materiales con elevado contenido de arcilla cohesiva, lo que amplía significativamente su campo de uso.

- Aplicación: Sus requerimientos de aplicación son mínimos, lo que facilita su implementación y lo convierte en una solución económicamente accesible. El proceso consiste en mezclar adecuadamente el suelo, diluir el producto completamente en agua y proceder a una compactación exhaustiva del material tratado. Es apto para suelos con un índice de plasticidad medio inferior a 20 y tolera la presencia de materia orgánica en su composición (TDM, 2011).

2.2.9.4. Ventajas que se obtendrían al aplicar el producto

Muchos materiales que antes se consideraban inadecuados ahora pueden utilizarse gracias a Con-Aid. Los ingenieros disponen ahora de mayor libertad para incorporar materiales in situ en el pavimento, en una o varias capas, lo que reduce la práctica, perjudicial para el medio ambiente, de importar tierra de canteras.

El material tratado mejora al material sin tratar en muchos aspectos; por ejemplo, multiplica por seis la vida útil de la carretera y reduce drásticamente la pérdida de material causada por el tráfico. Las ventajas se acumulan como resultado de una reducción del 85 % en los costes de mantenimiento de las carreteras: fuente: (CLAUDIA DIEZ, 2014).

- Minimiza las operaciones de acarreo y manipulación de materiales durante el proceso constructivo.
- Contribuye a la reducción de los costos de construcción y disminuye la demanda de materiales en obra.



- Genera un ahorro significativo en las operaciones de movimiento de tierras y transporte de materiales.
- Disminuye considerablemente los requerimientos de mantenimiento periódico de la vía tratada.
- Suprime de manera efectiva el desprendimiento de polvo en la superficie del suelo estabilizado.
- La presencia de lluvias durante el proceso constructivo no compromete ni afecta la efectividad del tratamiento aplicado.
- Permite la posterior ejecución de trabajos de pavimentación sobre la superficie tratada.
- Producto inocuo que no representa riesgo alguno para la salud de las personas ni para el equilibrio del medio ambiente.
- Un tambor de 100 litros tiene un rendimiento estimado de entre 10,000 y 20,000 m², optimizando el uso del producto y reduciendo los costos por unidad de área tratada (TDM, 2011).

A pesar de la mayor concentración de arcilla y limo fino en este tipo de suelo, se genera una mayor cantidad de polvo. En suelos demasiado blandos o que contengan ciertos tipos de arcilla, puede ser necesario aplicar una capa de piedra de 20 mm o grava n.º 1. La proporción es de entre veinte y veinticinco kilos por tonelada métrica. Poco después de la estabilización, compacte esta capa para que se convierta en una superficie rodante que los neumáticos puedan utilizar para generar fricción. Suponiendo que esto sea cierto, hay que considerar



cuidadosamente el precio de este contenido adicional. Por qué el producto estabilizador Con-Aid es una buena opción.

2.2.9.5. Elevada eficiencia constructiva a menor costo económico

La aplicación de este aditivo permite obtener caminos de tierra con reducidos costos de mantenimiento y una prolongada vida útil, manteniéndose eficaz bajo las más diversas condiciones climáticas. Al disminuir la infiltración de agua en el suelo, se incrementa su estabilidad estructural, lo que se traduce en una reducción significativa de problemas frecuentes en la superficie vial, tales como ondulaciones, ahuellamiento y formación de baches, contribuyendo así a extender la vida útil de la vía y a minimizar los gastos asociados a su mantenimiento. Asimismo, una ventaja adicional de este tratamiento radica en la posibilidad de emplear materiales de menor calidad geotécnica disponibles en la zona, reduciendo la dependencia de materiales importados de mayor costo y maximizando el aprovechamiento de los recursos propios del área de intervención.

2.2.9.6. Incremento en la capacidad de resistencia a la compresión del suelo tratado

Para un catalizador orgánico, es fundamental mejorar la densidad, la cohesión y la estabilidad de la mezcla de materiales; por lo tanto, la resistencia a la compresión de la mezcla debería aumentar a medida que se producen estas mejoras.

2.2.9.7. Facilidad de aplicación y reducción del esfuerzo requerido en el proceso de compactación

Lo ideal sería que el producto aumentara la lubricación de las partículas del suelo. Esto facilita la nivelación del suelo y permite utilizar menos compactadoras para alcanzar la densidad necesaria.

2.2.9.8. Mejora de la densidad seca del suelo mediante la aplicación del aditivo

La capacidad que se atribuye al producto para reducir los huecos entre las partículas del suelo se basa en su capacidad para modificar la afinidad electroquímica entre dichas partículas y liberar el agua acumulada. El resultado final es una superficie vial menos polvorienta, más resistente y más seca.

2.2.9.9. Reducción de la permeabilidad del suelo frente a la acción del agua

La escorrentía del suelo y la migración del agua suelen producirse a través de los huecos entre las partículas del suelo; sin embargo, tras aplicar el producto, la estructura del suelo debería volverse más cohesionada, lo que impediría que esto ocurriera.

2.2.9.10. Climas

Debe ser resistente a las heladas, a las zonas con precipitaciones abundantes y a los cambios bruscos de temperatura. Parafraseado de: (TDM, 2011).

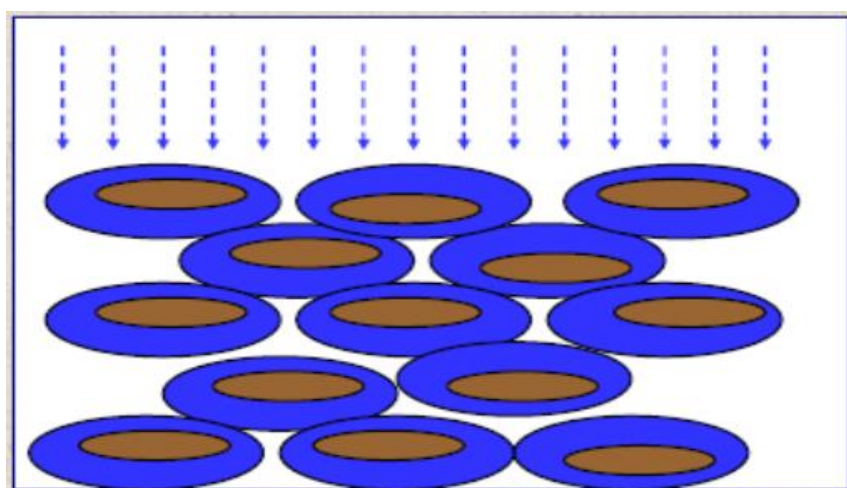
2.2.10. Secuencia de fases en el tratamiento de suelos con el aditivo CON-AID

Estos son los pasos que siguen las reacciones químicas:

A. Primera Fase. Se describieron detalladamente las reacciones químicas que tuvieron lugar cuando las moléculas de Con-Aid comenzaron a unirse. Una fina capa de agua adsorbida empieza a desprenderse de la superficie de las partículas de tierra.

Figura 9

Condición original del suelo en presencia de agua adsorbida en su estructura

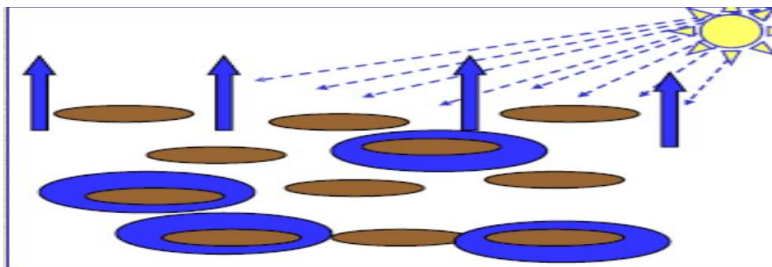


Nota: (Con-Aid, 2012).

B. Segunda Fase. El agua adsorbida se evapora y se separa de las partículas, liberando el espacio entre ellas. Sin embargo, la fuerza gravitatoria entre partículas muy pequeñas (arcilla) podría hacerse notable al no existir una capa de agua que la neutralice.

Figura 10

Efecto del aditivo CON-AID sobre la expulsión del agua retenida por adsorción

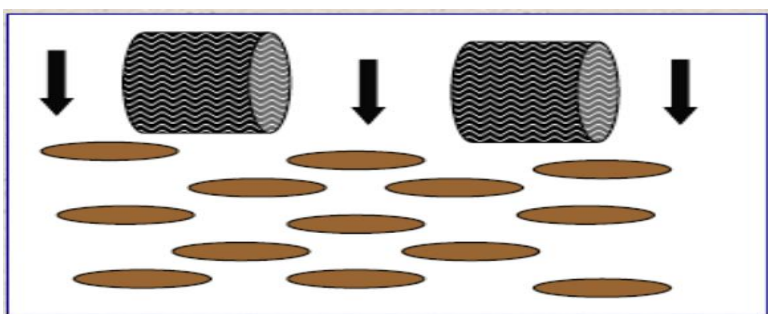


Nota: (Con-Aid, 2012).

C. Tercera Fase. Apisonado y compactación. Las partículas de tierra estabilizadas deben someterse a una presión mecánica para que se reorganicen. Ahora es el momento de regar solo con agua para que la superficie no se seque demasiado rápido.

Figura 11

Condición del suelo tratado previo a la ejecución del proceso de compactación

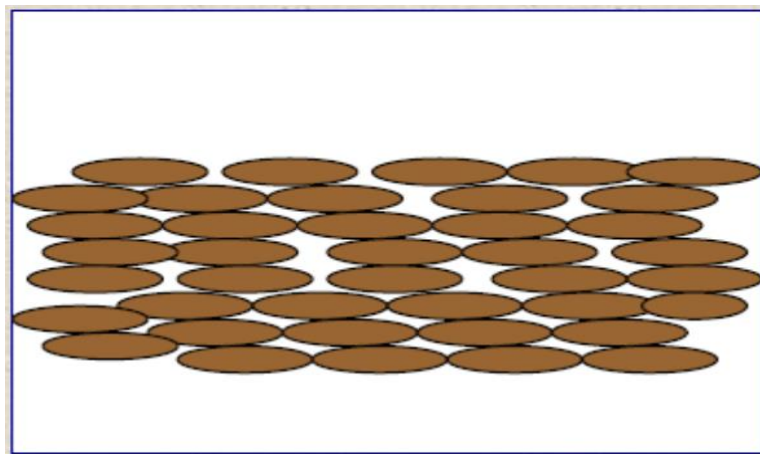


Nota: (Con-Aid, 2012).

D. Cuarta Fase. Apisonado y compactación. En esta fase, las partículas del suelo se someten a la tensión mecánica necesaria para su reorganización y estabilización. Para evitar que la superficie se seque demasiado rápido, en esta fase solo se utiliza agua para el riego curativo.

Figura 12

Condición del suelo tratado previo a la ejecución del proceso de compactación



Nota: Propia del Proveedor (Con-Aid, 2012)

2.3. Marco conceptual

1. Suelo: El suelo es la sustancia física que constituye la base de muchos tipos diferentes de proyectos de construcción, entre ellos las carreteras, la ingeniería civil y la arquitectura. Su comportamiento viene determinado por su estado, su naturaleza y sus características geomecánicas (Braja, 2001).
2. Una autopista es un tipo de infraestructura de transporte terrestre cuidadosamente planificada para permitir la circulación fluida y segura de los vehículos, garantizando tanto la comodidad como la seguridad (MTC, 2014)).
3. Estabilización del suelo: este método consiste en modificar y mejorar las propiedades del suelo para que resulte más resistente, duradero y adecuado a las necesidades técnicas de un proyecto (MTC, 2014).



4. CBR: En el caso de los pavimentos de carreteras y campos, el CBR es una herramienta útil para determinar la capacidad de carga de diversos materiales, incluidos los reciclados. (Fuente: 2016 – Ministerio de Transporte y Comunicaciones)).
5. Subrasante: La superficie de la carretera terminada a nivel del movimiento de tierras (desmonte o relleno) sobre la que se asienta la estructura del pavimento o la capa de base se denomina subbase. (Glosario de proyectos de infraestructura viaria de 2018)).
6. Contenido de humedad. El volumen, la cohesión y la estabilidad mecánica son solo algunas de las propiedades del suelo que pueden verse significativamente afectadas por este componente crucial.
7. Estabilización. Para maximizar las propiedades físicas y químicas aún no identificadas de la superficie, el procedimiento de estabilización paso a paso requiere la introducción de una amplia gama de componentes. El objetivo de este esfuerzo es alcanzar los resultados especificados.
8. Límites de consistencia. La expresión «límites de Atterberg» se utiliza para describir un trío de factores que definen el rango de posibles niveles de consistencia en suelos de grano fino en función del contenido de humedad. La cantidad de humedad superficial determina estas etapas. Las secciones que se tratan aquí son el límite de contracción, LL, y LP.

9. Proctor modificado. Para determinar los niveles adecuados de nivelación y pavimentación, es fundamental correlacionar la densidad seca de los materiales con su contenido de humedad de compactación. Además, es un buen punto de referencia para medir el grado de compactación de la zona. Con esto, se obtiene una ventaja adicional.
10. Análisis Granulométrico: Análisis de la dispersión del tamaño de las partículas: Mediante la evaluación cuantitativa de la dispersión del tamaño de las partículas, este proceso determina la distribución granulométrica del material. Si desea saber cómo se comportan los distintos suelos cuando se someten a carga, es necesario realizar este análisis (MTC, 2018, p. 4)).
11. Límite Plástico: 11. El límite plástico es el contenido de agua del suelo, que determina si este adquiere un estado semisólido o plástico. Es uno de los límites de Atterberg, junto con el límite líquido, que se utilizan para la clasificación y evaluación de los suelos cohesivos (MTC, 2018, p. 15)).
12. Máxima Densidad Seca: La densidad máxima en seco de un suelo es el valor que alcanza en una curva de compactación para una tensión de compactación estándar o modificada determinada. En MTC (2018), página 16.



CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014): La investigación aplicada se caracteriza por su intención de resolver problemas prácticos; busca generar conocimientos que puedan ser utilizados directamente en situaciones reales, más allá del interés teórico. Es aplicada porque buscas resolver un problema específico (la mejora de las vías en Juliaca) utilizando conocimientos teóricos sobre estabilización química de suelos para una aplicación práctica inmediata.

3.2. Nivel de investigación

Esto se refiere al grado de familiaridad del investigador con el tema, el hecho o los fenómenos que se están estudiando (Condori, 2020). Dado que nos permite abordar hipótesis causales es decir, examinar las causas de los acontecimientos y procesos con un énfasis principal en su validación, optamos por trabajar en el nivel explicativo (Esteban, 2018). Desde el nivel explicativo,



utilizaremos técnicas adecuadas para describir los elementos y propiedades que, al combinarse con la subbase, producirán el aditivo.

3.3. Diseño de investigación

Dado que modificará dos variables relacionadas con la causa, este estudio se considera un diseño experimental. Las pruebas de caracterización del suelo en capas de base convencionales (materiales de uso local) formarán parte del estudio. A continuación, se mezclarán el contenido de humedad ideal por metro cúbico de material (Aid) y la cantidad de aditivo Con (en litros) para observar cómo cambian sus propiedades físico-mecánicas. El estudio utilizará técnicas tanto descriptivas como exploratorias para alcanzar sus objetivos.

3.4. Enfoque de la investigación

Dado que utiliza datos numéricos extraídos de nuestro entorno y muestras cognitivas que se analizan estadísticamente para evaluar hipótesis, se optó por un método cuantitativo (Del Canto y Silva, 2013). Es fundamental recopilar datos numéricos precisos para evaluar el efecto de los factores independientes en la mejora de las propiedades de la muestra, entre ellas la resistencia, la capacidad de carga y la estabilidad.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Según Sánchez et al. (2021, p. 201), la población del estudio está formada por todas las personas que forman parte de la muestra que se va a estudiar. Estos sujetos comparten ciertas características o presentan alguna particularidad. Dado que los proyectos de construcción de carreteras en la ciudad de Juliaca utilizan material procedente de las canteras de Taparachi e Isla para

construir la base granular, estas canteras constituyen, por tanto, los sujetos de esta investigación.

3.5.2. Muestra

La obtención de las muestras de material destinadas a la conformación de la Subbase Convencional se realizará mediante la extracción de material proveniente de dos canteras previamente identificadas. De manera similar, las muestras correspondientes a la Subbase Modificada serán obtenidas a partir de la explotación de dos canteras, garantizando así la representatividad y calidad del material empleado en ambos casos.

Tabla 7

Muestra de investigación

Muestras a utilizarse	Dosificación del aditivo	
Material subbase convencional (70% agregado de cantera taparachi + 30% hormigon)	1.-	0.04 litros por m3
	2.-	0.06 litros por m3
	3.-	0.08 litros por m3
Material modificado para subbase (70% agregado reciclado + 30%hormigon)	1.-	0.04 litros por m3
	2.-	0.06 litros por m3
	3.-	0.08 litros por m3

3.6. Procedimiento de estudio

3.6.1. Materiales

Análisis de laboratorio para la determinación de la dosis.

Dado que este tipo de investigación requiere el análisis de varias muestras, intentamos abarcar todas las circunstancias posibles dentro de un



rango de ensayo aceptable. A modo de ejemplo: para empezar, se tomó una muestra representativa de los residuos de construcción y demolición (RCD) del vertedero de Chilla, de las canteras de Taparachi (para áridos naturales) y de la cantera de Isla (para hormigón). A partir de esta muestra genérica se obtuvieron las siguientes muestras:

- Mezcla Convencional (A.N. + H): Corresponde a la combinación de un 75% en peso de agregado natural con un 30% en peso de hormigón de isla, conformando así la dosificación estándar empleada en la subbase convencional.
- Mezcla Modificada (A.R. + H): Está constituida por un 75% en peso de agregado reciclado proveniente de residuos de construcción y demolición (RCD), complementado con un 30% en peso de agregado hormigón de isla, representando la alternativa sostenible para la conformación de la subbase modificada.

Disponíamos de un método práctico para determinar fácilmente la cantidad de Con-Aid disuelta en agua potable en relación con el estabilizador. Este parámetro ya viene especificado por el proveedor y determina lo siguiente: Estas distribuciones granulométricas se propusieron con la intención de verificarlas mediante resultados de laboratorio. Si se observaran in situ, confirmarían estas observaciones empíricas. Se puede obtener una cantidad de 100 kilogramos de tierra seca (1000 kg/m^3) multiplicando 0,05 litros de aditivo (Con-Aid) por 1 litro de agua limpia. Por consiguiente, partiendo de la directriz, se sugieren las siguientes cantidades:

- Dosificación 1: Una cantidad de 0.04 L del aditivo deberá ser diluida en 1 litro de agua potable, siendo esta solución aplicada sobre 1 m³ de material en estado seco.
- Dosificación 2: Una cantidad de 0.06 L del aditivo deberá ser diluida en 1 litro de agua potable, siendo esta solución aplicada sobre 1 m³ de material en estado seco.
- Dosificación 3: Una cantidad de 0.08 L del aditivo deberá ser diluida en 1 litro de agua potable, siendo esta solución aplicada sobre 1 m³ de material en estado seco.

Figura 13

Se aprecia la cantidad de 250ml del aditivo Con-Aid



3.6.2. Trabajos de Campo

Material reciclado: El vertedero de Chilla, en Juliaca, recoge residuos de la construcción, entre los que se incluyen ladrillos, hormigón, metal oxidado, madera y tierra contaminada, entre otros. Estos residuos se mezclan con la basura sólida municipal y se dejan acumular sin control. La falta de recubrimiento

y compactación provoca una contaminación visible, lo que a su vez hace que se filtren toxinas al suelo y plantee problemas de salud.

Figura 14

Se extrae la muestra del material reciclado



Material de Cantera Taparachi: se siguen los procedimientos habituales para la extracción y el cribado de las materias primas de la cantera de Taparachi. Los procesos incluyen la separación del material aglutinante mediante un cribado de 1½ pulgadas, y el material que queda tras el cribado se utilizará como relleno de la capa de base. Posteriormente, se retiran tres sacos de 50 kilogramos, que son esenciales para realizar pruebas y análisis precisos en el laboratorio.

Figura 15

Materiales de la cantera Taparachi



Material hormigón cantera isla: Se extrajeron cuatro sacos de 50 kilogramos de este lote de hormigón de la cantera de Isla tras su transporte a la obra para su análisis en laboratorio, y se mezclaron según las proporciones indicadas en el laboratorio.

3.6.3. Procedimientos y ensayos desarrollados en el laboratorio de mecánica de suelos

El objetivo de este estudio es comparar las propiedades físicas y mecánicas de dos tipos de áridos utilizados para la elaboración de capas de base granulares: el árido convencional de la cantera de Taparachi (árido natural) y los residuos de construcción y demolición (RCD) reciclados, a los que en este trabajo nos referimos como áridos reciclados (AR). Las capas de base se fabricarán con una cantidad específica del aditivo estabilizador Con-Aid (mililitros por metro cúbico). Se realizaron ensayos de laboratorio en nuestros diseños de subbases para garantizar que cumplieran los requisitos establecidos por la norma MTC EG-2013.

3.6.3.1. Pruebas de identificación y caracterización geotécnica del suelo

La subbase granular debe cumplir con las normas establecidas por la norma MTC EG-2013. Los ensayos que deben realizarse se especifican en la sección 402 y deben cumplir con las normas establecidas por la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM) de los Estados Unidos. El Manual de Ensayos de Materiales del MTC (EM 2016) de las Normas Técnicas del Perú establece la normativa para la realización de ensayos de laboratorio. Las



técnicas descritas en el manual son adecuadas, sencillas y prácticas. Todos los siguientes elementos proporcionan detalles sobre los métodos utilizados en el estudio.

- Ensayo de resistencia a la abrasión del agregado grueso mediante la Máquina de Los Ángeles.
- Determinación de la distribución granulométrica del material mediante análisis por tamizado.
- Evaluación de los límites de consistencia o de Atterberg del suelo estudiado.
- Determinación de las relaciones humedad-densidad mediante el ensayo Proctor Modificado.
- Determinación de la capacidad de soporte del suelo mediante el ensayo de CBR (California Bearing Ratio).

A. Determinación de la resistencia a la abrasión los Ángeles

Instrumentos:

- Medidor de precisión.
- Tamices de malla cuadrada.
- Un juego de tamices gruesos de 38,1 mm ($1\frac{1}{2}$), 25,4 mm (1), 19,0 mm ($\frac{3}{4}$) y 12,7 mm ($\frac{1}{2}$). Caja de cambios Los Ángeles.
- La olla es de gas.
- Estantes del dispensador.

Procedimiento:

La cantidad del aditivo Con-Aid no se tendrá en cuenta a la hora de calcular el nivel de desgaste, ya que no aumenta la resistencia al desgaste de los materiales. Por este motivo, se utilizó el grado A para la prueba, ya que todas las muestras incluían material con un diámetro máximo de 3,8 cm.

Tabla 8*Gradación de las muestras de ensayo*

TAMAÑOS		PESO Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA, G.M.S.						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 ½"					2500		
2 ½"	2"					2500		
2"	1 ½"					5000	5000	
1 ½"	1"	1250					5000	5000
1"	¾"	1250						5000
¾"	½"	1250	2500					
½"	⅜"	1250	2500					
⅜"	# 3			2500				
# 3	# 4			2500				
# 4	# 8				5000			
No. DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
No. DE REVOLUCIONES		5000	500	500	500	1000	1000	1000

Nota: (MTC, 2016).

Ponga en marcha la máquina de Los Ángeles a una velocidad de entre 30 y 33 rpm durante 500 revoluciones con la muestra de ensayo en su interior. Cuando suene el temporizador, saque el material de la máquina y páselo por un tamiz estándar de 1,70 mm (n.º 12) para hacerse una idea. El MTC E 204 puede filtrar partículas de menos de 1,70 mm, dependiendo del modo de funcionamiento. Para obtener la masa redondeada al gramo más cercano, lave el material que haya quedado retenido en la malla de 1,70 mm y, a continuación,

séquelo en un horno a 110 ± 5 °C hasta que adquiriera un peso constante (MTC, MATERIALS TESTING MANUAL, 2016, p. 3017).

Puede omitir el lavado del árido si este está prácticamente libre de polvo y recubrimientos, pero asegúrese de que esté completamente seco antes de realizar el ensayo. Para los ensayos de arbitraje es necesario realizar un procedimiento de lavado. Una vez que las muestras se hayan limpiado y hayan pasado por un filtro n.º 12, se pesarán. A continuación, se utiliza el siguiente formato para realizar los cálculos.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = [Pa - Pb] / Pa$$

Donde:

- Pa = Masa de la muestra en estado seco previo a la ejecución del ensayo.
- Pb = Masa de la muestra en estado seco obtenida tras la realización del ensayo, retenida sobre el tamiz N°12.

Figura 16

Muestra zarandeada con gradación A



Figura 17

Muestra zarandeada con gradación A, material reciclado



B. Contenido de humedad natural del suelo (MTC E 108)

Instrumentos:

- Balanza de precisión.
- Horno eléctrico.
- Bandejas para almacenar muestras.

Procedimiento:

El procedimiento de este ensayo consiste en registrar el peso total del recipiente y la muestra de cantera con humedad natural, pesando la bandeja y el suelo. El siguiente paso es secar la muestra manteniéndola en un horno eléctrico a 105 °C durante un mínimo de 12 horas. Una vez finalizado el periodo de secado, se mide la masa de la muestra como tierra seca más su recipiente. Una vez que hayamos terminado de procesar todas las muestras, podremos examinar los cálculos específicos del material del suelo.

C. Ensayo de granulometría por tamizado para la clasificación del suelo (MTC E 107)

Instrumentos:

- Tamices de malla cuadrada para la separación granulométrica del material.
- Balanza de precisión para la determinación exacta de las masas de cada fracción.
- Serie de tamices de abertura fina: 4.76 mm (N°4), 2.00 mm (N°10), 0.840 mm (N°20), 0.425 mm (N°40), 0.150 mm (N°100) y 0.075 mm (N°200).
- Serie de tamices de abertura gruesa: 38.1 mm (1½"), 25.4 mm (1"), 19.0 mm (¾"), 12.70 mm (½") y 9.5 mm (3/8").
- Cepillos y brochas para la limpieza y mantenimiento de los tamices durante el ensayo.
- Horno eléctrico para el secado de las muestras a temperatura controlada.
- Taras destinadas al almacenamiento y secado adecuado de las muestras durante el proceso.
- Bandejas para la correcta disposición y almacenamiento de las muestras ensayadas.

Procedimiento:

A continuación, encontrarás una descripción de las ocho muestras que se analizaron.

- Material reciclado extraído del botadero Chilla, destinado al proceso de estabilización.
- Material granular proveniente de la cantera Taparachi, empleado como agregado natural.
- Material de hormigón obtenido de la cantera Isla, utilizado como componente de la mezcla.
- Material para Subbase Convencional, conformado por una mezcla de 70% de agregado natural (A.N.) y 30% de hormigón de cantera.
- Material para Subbase Convencional, conformado por 70% de agregado natural (A.N.) y 30% de hormigón (H.), con incorporación de 60 ml por m³ del aditivo CON-AID.
- Material Modificado para Subbase, compuesto por una combinación de 70% de agregado reciclado (A.R.) y 30% de hormigón de cantera.
- Material Modificado para Subbase, compuesto por 70% de agregado reciclado (A.R.) y 30% de hormigón (H.), con adición de 40 ml por m³ del aditivo CON-AID.

Para que nuestro análisis sea más eficiente y eficaz, primero dividiremos cada muestra en cuatro partes, lo que implica mezclar bien la muestra extraída y, a continuación, seleccionar dos conjuntos de cuatro. A continuación,



registraremos el peso de la primera muestra seleccionada en el proceso de división en cuatro partes.

Una vez que la muestra representativa se ha enjuagado a fondo con agua limpia a través de un tamiz n.º 200, se repite el procedimiento hasta que el agua salga clara. A continuación, la muestra se seca en un horno eléctrico a 105 °C durante un mínimo de 12 horas.

Una vez seca la muestra, el siguiente paso consiste en tamizarla utilizando una serie de tamices numerados desde 200 hasta 1½ pulgadas de diámetro. A continuación, se pesa el material tras agitar energicamente los tamices con un movimiento rotatorio uniforme, tanto horizontal como verticalmente.

Se sometieron a esta prueba muestras de hormigón y tierra de las canteras de Taparachi e Isla con el fin de clasificarlas. A continuación, se procesaron los datos para determinar la distribución granulométrica. Después, se utilizó el enfoque cuadrático para garantizar la conformidad con la distribución granulométrica especificada por el MTC específicamente para la construcción de la subbase. Con el fin de observar cómo se comportaba la curva de distribución granulométrica de ambos diseños al introducir el aditivo Con-Aid, se llevó a cabo un análisis granulométrico en muestras de la subbase convencional y de la subbase modificada.

Una vez finalizado el análisis del tamaño de las partículas de la muestra, procedimos a realizar análisis del tamaño de las partículas para dos diseños: el diseño «modificado», que incluía áridos reciclados y áridos de hormigón, y el

diseño «convencional», que incluía áridos naturales (Taparachi) y áridos de hormigón. Para ambos diseños, recomendamos una proporción de mezcla del 70/30 %, y siempre respetamos los parámetros mínimos establecidos en la sección 402 del MTC.

D. Determinación de los límites de consistencia o de Atterberg del suelo según la norma MTC E 111

Limite liquido

Instrumentos:

- Espátula de hoja flexible con dimensiones de 3" a 4" de longitud y $\frac{3}{4}$ " de ancho, utilizada para la mezcla y manipulación del material.
- Vasija de porcelana con un diámetro aproximado de 115 mm, destinada a la preparación de la muestra.
- Acanalador para la ejecución del surco normalizado sobre la muestra en la cuchara de Casagrande.
- Balanza de precisión para la determinación exacta de las masas de las muestras ensayadas.
- Cuchara de Casagrande de operación manual, instrumento principal para la determinación del límite líquido.
- Horno de secado con capacidad para mantener una temperatura controlada de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante el proceso de secado.
- Recipientes o taras para el almacenamiento y secado adecuado del material durante el ensayo.



- Tamiz N°40 para la separación y clasificación de las partículas finas del suelo ensayado.
- Cuchara de Casagrande como equipo fundamental para la determinación de los límites de consistencia del suelo.

Procedimiento:

Cada muestra se analizó extrayendo unos 200 gramos de material que había pasado por un tamiz de 0,425 mm (n.º 40). Añadimos 50 ml, 70 ml y 90 ml del aditivo Con-Aid por metro cúbico de cada uno de los materiales de subbase modificada y convencional, respectivamente, tras seguir la misma técnica que con las muestras sin aditivo.

Una vez mezclado con el aditivo, introduzca la mezcla en una bolsa y déjela a un lado. Por último, transfiera una pequeña cantidad de la mezcla a una bandeja Casagrande y distribúyala uniformemente con una paleta, asegurándose de eliminar cualquier burbuja de aire que se haya podido formar. Con una paleta, alise la superficie hasta una profundidad de no más de 1 cm.

Extienda la mezcla uniformemente con una paleta para formar una torta circular de 1 cm de grosor en el centro. Para evitar que la tierra se desgarre a lo largo de la ranura, utilice la ranuradora para hacer una ranura sólida alrededor de la circunferencia de la cuchara y a lo largo de su línea central.

Limite plástico

Instrumentos:

- Vasija de porcelana con un diámetro aproximado de 115 mm, empleada para la preparación y manipulación de la muestra.

- Espátula de hoja flexible con dimensiones de 3" a 4" de longitud y $\frac{3}{4}$ " de ancho, utilizada para la mezcla homogénea del material.
- Tamiz N°40 para la selección y separación de las partículas finas del suelo a ensayar.
- Balanza de precisión para la determinación exacta de las masas de las muestras durante el ensayo.
- Recipientes o taras y superficie de rodadura de vidrio para el amasado y moldeo de los rollitos durante la determinación del límite plástico.
- Horno de secado con capacidad para mantener una temperatura controlada de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante el proceso de secado de las muestras.
- Agua destilada como medio de humectación controlada del material durante la preparación de las muestras para el ensayo.

Procedimiento:

Se funden 20 gramos. Se prepara una pasta de tierra homogénea mezclando la muestra, que se ha tamizado con un tamiz n.º 40, con agua destilada. Se utiliza una varilla de unos 3,2 mm de diámetro, se pesa, se introduce en un horno eléctrico durante un día y, a continuación, se vuelve a pesar para determinar el límite de plasticidad. El árido de hormigón, que es un árido arenoso, no mostró plasticidad tras aplicar el mismo proceso a las muestras de material de la cantera de Taparachi. Añadiremos 50 ml, 70 ml y 90 ml de



aditivo Con-Aid a los diseños de árido estándar y de subbase modificada (utilizando el material más crucial) para ver cómo reaccionan los índices de plasticidad con el agente estabilizador.

E. Evaluación de la compactación del suelo a través del ensayo

Proctor Modificado según MTC E 115

Instrumentos:

- Pisón o martillo compactador con una masa de 4.54 kg y una altura de caída normalizada de 457.2 mm, utilizado para la aplicación de la energía de compactación.
- Molde metálico cilíndrico de 6" de diámetro interior, con una altura de 4.58" y un volumen de 2,104.00 cm³, empleado para el confinamiento del material durante el ensayo.
- Horno de secado con capacidad para mantener una temperatura controlada de 110°C ± 5°C, destinado al secado de las muestras ensayadas.
- Balanza de precisión para la determinación exacta de las masas del material en cada etapa del ensayo.
- Tamices de ¾", 3/8" y N°04 para la separación y clasificación granulométrica del material previo al ensayo.
- Regla metálica para el enrasado y nivelación de la superficie del material compactado en el molde.
- Taras o envases para el almacenamiento y secado adecuado del material durante el proceso de ensayo.



- Bandejas para la correcta disposición y almacenamiento del material preparado para el ensayo de compactación.

Medidas a tomar:

Antes de utilizar las muestras en los diseños de la subbase, tanto convencionales como modificados, con las cantidades sugeridas de Con-Aid, las muestras se secaron en un horno de gas para eliminar cualquier humedad inherente. Esto nos permitió calcular con precisión las cantidades de agua mezcladas con el aditivo, expresadas como porcentaje del peso del material ensayado procedente de las canteras de Taparachi. Para este experimento se necesitaron aproximadamente 25,00 kg.

Tras secarse en un horno eléctrico, el material se pasó por varios tamices, incluyendo tamices n.º 04, de 3/8 y de 3/4. Los tamices de 1 ½ y 1 se reservaron para el ensayo Proctor modificado, ya que se comprobó que contenían más del 5 % de fracción gruesa, según la norma. Por lo tanto, se utilizó el tamiz de 1 para el tamizado. De esta manera, se observó que el tamiz de 3/4 retenía menos del 30 % del material, mientras que los tamices de 3/8 y n.º 04 retenían más del 30 % del material en peso.

Por lo tanto, recomendamos el método B y a continuación explicamos por qué es la mejor opción:

En pocas palabras, aumenta la cantidad de material retenido por los tamices n.º 4 y de 3/8". Las especificaciones técnicas del aditivo indican que se consigue un mejor nivel de compactación gracias a una mayor consolidación en condiciones de contenido de agua moderado a bajo.



Dado que utiliza menos golpes por capa que el método «C», podemos deducir que nuestro material tratado con aditivo alcanzará una menor compactación.

Las especificaciones técnicas del aditivo sugieren un mayor grado de compactación mediante una mayor consolidación con un contenido de agua de moderado a bajo.

En cada uno de los cuatro lugares de las respectivas bandejas, coloque 2,3 kg de material. Añada un porcentaje de agua (basado en el peso de la muestra) y remueva la mezcla a mano hasta que sea homogénea.

Del mismo modo, en el caso de los diseños de subbase convencional y modificada, el agua potable se complementará con agua tratada con aditivo en cantidades de 50 ml, 70 ml y 90 ml, respectivamente. Sin embargo, esto no equivaldrá al volumen total por metro cúbico. Para comprobarlo, se utilizarán en el laboratorio 10 ml de agua tratada con aditivo disuelta por kilogramo de suelo seco.

F. Determinación de la capacidad de soporte del suelo mediante el ensayo de Valor Relativo de Soporte (CBR) conforme a la norma MTC E 132

Instrumentos:

- Pistón de penetración calibrado con una velocidad de penetración normalizada de 1.27 mm por minuto, con anillos de carga debidamente verificados y calibrados.



- Disco espaciador metálico de 5 15/16" de diámetro exterior y 2.41" de espesor, utilizado como falso fondo en el molde cilíndrico durante el proceso de compactación.
- Molde metálico cilíndrico de 6" de diámetro interior y 7" de altura, equipado con cuello de extensión de 2" de alto y placa perforada de 3/8".
- Pisón compactador con una masa de 4.54 kg y altura de caída normalizada de 457.2 mm, empleado para la aplicación de la energía de compactación.
- Pesas ranuradas de 4.54 kg con orificio central de 2 1/8" de diámetro, utilizadas como sobrecarga durante el proceso de inmersión y penetración.
- Pistón penetrante metálico de sección transversal circular con diámetro de 49.63 mm y área de 19.35 cm², con longitud mínima de 4 pulgadas requerida para la penetración.
- Tanque de inmersión para el sumergimiento de los moldes durante el período de saturación de las muestras.
- Diales con recorrido mínimo de 25 mm y divisiones de lectura de 0.025 mm para el registro preciso de las deformaciones.
- Horno de secado con capacidad para mantener una temperatura controlada de 110°C ± 5°C durante el secado de las muestras.

- Balanza de precisión para la determinación exacta de las masas del material en cada etapa del ensayo.
- Tamices de $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ " y N°04 para la clasificación granulométrica previa del material a ensayar.
- Taras o envases para el almacenamiento y secado adecuado del material durante el proceso de ensayo.
- Bandejas para la correcta disposición y almacenamiento del material preparado para el ensayo de CBR.

Procedimiento:

Hay unos 18 kg de material preparado. Durante el proceso de ensayo, este se pasa por un tamiz de malla de 1/2 pulgada; sin embargo, se utiliza el material de ensayo CBR, que tiene una malla de 3/8 de pulgada, cuando más del 70 % del peso total del material pasa a través de la malla de 1/2 pulgada.

Para obtener la mayor densidad seca durante el proceso de compactación en cada molde, necesitamos conocer el contenido de humedad ideal. Conocer el nivel de humedad natural nos ayuda a determinar cuánta agua hay que añadir para conseguir este contenido de humedad ideal.

Para retirar el disco espaciador y colocar la carga, se giró el molde; este proceso se repitió con todas las muestras de material. Es necesario aplicar una carga de 4,54 kg para el análisis de la subbase o la capa superficial.



Antes de colocar la muestra sobre el papel de filtro, fíjela a la placa inferior. A continuación, coloque la placa perforada de la varilla ajustable sobre la muestra. Por último, añada un peso de sobrecarga encima. Fije un trípode equipado con un medidor de tensión a la varilla de la placa perforada y colóquelo en el borde del molde.

Durante cuatro días, el molde se sumerge en agua hasta que se satura; diariamente, a la misma hora, el medidor de dial debe registrar la expansión de cada molde.

Tras el periodo de cuatro días, se sacó el molde, se dejó escurrir durante unos diez o quince minutos y, a continuación, se colocó sobre el soporte de carga de la prensa. Se ajustó de manera que la muestra quedara centrada sobre el pistón de penetración.

El dial indicador de presión del anillo de carga fue debidamente calibrado, estableciéndose una velocidad de penetración del pistón de 1.27 mm/min sobre el suelo ensayado. Las lecturas del dial de carga fueron registradas en los siguientes intervalos de penetración: 0.63, 1.27, 1.90, 2.54, 3.17, 3.81, 5.08, 7.62, 10.16 y 12.70 mm. Una vez concluido el ensayo de penetración, se procedió a la recopilación y registro de los datos obtenidos para cada muestra, con la finalidad de realizar los cálculos correspondientes al diseño de la subbase granular y determinar la dosificación óptima del aditivo CON-AID que garantice las mejores propiedades mecánicas del material estabilizado.



Una vez finalizada la prueba, se recogen las muestras de suelo, se retiran las cargas y se seca y pesa el suelo para determinar su contenido final de humedad.

3.7. Procedimientos e instrumentos aplicados para la recopilación de datos de la investigación

3.7.1. Técnica

La selección de la muestra de entre las gradaciones con menor cantidad de áridos gruesos formaba parte de la técnica de ensayo en laboratorio; también se detectaron materiales con una proporción de arcilla de baja a moderada. Debido a su índice de plasticidad moderado, su baja capacidad de carga y su escasa resistencia, nuestras muestras de material reciclado cumplirían los requisitos mínimos del 5 % de arcilla para que el aditivo Con-Aid resultara eficaz. Sin embargo, esto no cumple con las especificaciones técnicas descritas en el ROAD MANUAL (EG-2013), Sección 402: Subbases granulares.

A continuación, pasaremos a la fase de ensayos de laboratorio, donde examinaremos los efectos de añadir el agente estabilizador Con-Aid a suelos finos que contienen una cantidad moderada de material grueso sobre sus características físico-mecánicas.

3.7.2. Instrumento

Para determinar cuáles son las características mecánicas y físicas del suelo, el laboratorio utiliza fichas de observación. Los resultados de los análisis del suelo se han incluido en el apéndice del estudio. En función del índice de plasticidad, el índice CBR y la resistencia final, los datos se organizarán y se



someterán a un análisis estadístico y técnico. Los resultados se presentarán en tablas.

El objetivo es ofrecer una explicación de las propiedades mecánicas y físicas que se obtienen a partir de las tablas de datos procesados.

3.7.3. *Ámbito del Estudio*

Para abordar el problema del agotamiento de las canteras naturales, esta investigación analiza la estabilización de tierra reciclada, suelos limoso-arcillosos procedentes del vertedero de Chilla, en la ciudad de Juliaca (provincia de San Román, departamento de Puno), y una subbase convencional fabricada con hormigón y áridos naturales de la cantera de Taparachi. El objetivo es encontrar una solución que cumpla con las normas técnicas vigentes en Perú y que, al mismo tiempo, reduzca la presión sobre estas canteras.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Evaluación e interpretación de los resultados obtenidos a partir de las muestras extraídas en campo

4.1.1. *Resultados abrasión los ángeles MTC E 207*

A. Muestra material reciclado

- El material extraído del botadero Chilla, al presentar características de material granular, fue sometido a un proceso de tamizado bajo la gradación A, reteniéndose el material en los tamices de 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ ", con un peso retenido de 1,250 gramos en cada tamiz, alcanzando un peso total de 5,000 gramos $\pm$ 25 gramos, conforme a los requisitos establecidos para el ensayo.
- Para la ejecución del ensayo de abrasión se emplearon 12 esferas metálicas con un peso promedio de 420 gramos cada una, las cuales fueron introducidas en la Máquina de Los Ángeles junto con la muestra preparada.

Tabla 9*Abrasión del material reciclado*

Abrasión de agregado grueso máquina de Los Ángeles (MTC E 2007)	
Prueba	1
Gradación usada	A
N° de esferas	12
N° de revoluciones	500
Pa = Peso de muestra seca antes del ensayo, G.M.S.	5.000
Pb = Peso de muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre el tamiz N° 12	3184.6
Pa-Pb = Perdida	1815.4
% de desgaste	36.3%
Especificación para su base	50%

Nuestro material reciclado contendría partículas gruesas y resistentes al desgaste (como escombros de hormigón, ladrillo, cerámica, piedras con bordes redondeados y esquinas afiladas, etc.), tal y como se muestra en la tabla 9 anterior, y su resistencia al desgaste sería del 36,3 %, lo que cumple con la norma mínima para la construcción de capas de base. En nuestra opinión, el material extraído es adecuado para su uso en la creación de capas de base granulares, que posteriormente pueden estabilizarse utilizando el aditivo Con-Aid.

B. Evaluación del material ligante de origen natural obtenido de la cantera Taparachi

- Utilizamos roca procedente de la cantera de Taparachi, situada a aproximadamente media hora al noroeste del centro de Juliaca. Se dispuso de un total de 5.000 gramos (+/- 25) de material de grado A, compuesto por material cribado, es decir, la fracción que quedó

tras pasar por tamices de 1, 3/4, 1/2 y 3/8, con pesos retenidos de 1.250 gramos cada uno.

- Se utilizaron, de media, doce objetos esféricos con un peso de 420 gramos.

Tabla 10

Abrasión del material (ligante de cantera Taparachi)

Abrasión de agregado grueso máquina de Los Ángeles (MTC E 2007)	
Prueba	1
Gradación usada	A
N° de esferas	12
N° de revoluciones	500
Pa = Peso de muestra seca antes del ensayo, G.M.S.	5.000
Pb = Peso de muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre el tamiz N° 12	3537.4
Pa-Pb = Perdida	1462.6
% de desgaste	29.3%
Especificación para su base	50%

El resultado de la resistencia a la abrasión es del 29,3 %, tal y como se muestra en la tabla 10. Para ser más precisos, el material de cantera se separa en dos partes mediante un cribado con un tamiz de 2 pulgadas. El material grueso se queda en una parte y se utiliza para formar la capa de base, mientras que la otra parte se clasifica como material aglutinante y se destina a la formación de la subbase granular. Este material aglutinante se evaluará para su uso de acuerdo con los requisitos del MTC, ya que, según las estimaciones del laboratorio, presentaría un desgaste aceptable.

C. Material hormigón de cantera Isla

- Utilizamos áridos de hormigón procedentes de la cantera de Isla, situada a unos 15 km de la salida de Lampa. Las partículas que pasaron por los tamices de 1, 3/4, 1/2 y 3/8, cada uno con un peso retenido de 1250 gramos, hasta alcanzar un total de 5000 gramos $\pm$ 25 gramos, se utilizaron como áridos de grado A.
- De media, se utilizaron doce objetos esféricos con un peso de 420 gramos.

Tabla 11

Abrasión del material (Hormigón cantera Isla)

Abrasión de agregado grueso máquina de Los Ángeles (MTC E 2007)	
Prueba	1
Gradación usada	A
N° de esferas	12
N° de revoluciones	500
Pa = Peso de muestra seca antes del ensayo, G.M.S.	5.000
Pb = Peso de muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre el tamiz N° 12	3961.5
Pa-Pb = Perdida	1038.6
% de desgaste	20.8%
Especificación para su base	50%

Con una resistencia a la abrasión del 20,8 % y al cumplir de forma natural los requisitos mínimos de granulometría establecidos por el MTC, el material principal una mezcla de material arenoso y guijarros gruesos es adecuada para su uso en las mezclas propuestas para los diseños de subbase convencional y modificada (véase la tabla 11 anterior). Sin embargo, debido a su falta de plasticidad, se clasifica como N.P.

4.1.2. Caracterización granulométrica del suelo - MTC E 107

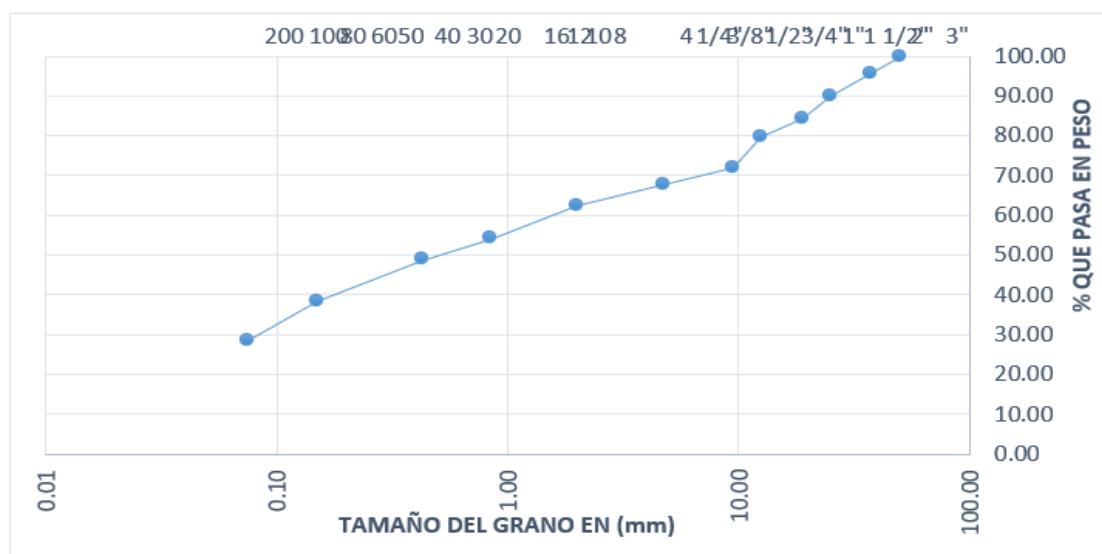
A. Muestra material reciclado:

La figura 18 muestra que la distribución granulométrica es compatible con la de una arena arcillosa (SC), clasificada como «excelente» a «buena» según la clasificación de suelos de la AASHTO (A-4). Las muestras recogidas incluyen material granular que contiene un 32,39 % de grava (el material que quedó retenido en el tamiz n.º 04). Dado que este material no cumple del todo los requisitos para subbases granulares, se complementará con material granular según las especificaciones del MTC.

- El tamaño máximo del tamiz es de 1 1/2"; el porcentaje de partículas que lo atraviesan es del 28,38 %. Clasificación de suelos según el sistema SUCS: SC
- Tipos de suelo según la definición de la AASHTO: A - 4(1).

Figura 18

Curva Granulométrica (Material reciclado)

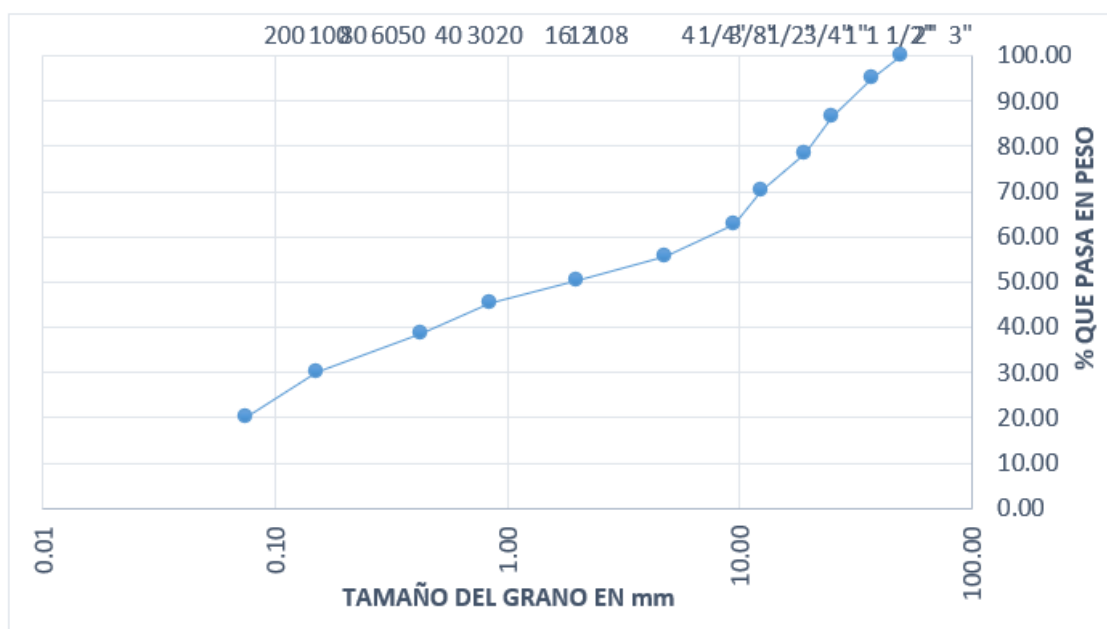


B. Material natural ligante de cantera Taparachi:

- El 20,14 % de las partículas pasa por un tamiz n.º 200 en la cantera de Taparachi; tamaño máximo de las partículas: 1 pulgada. Clasificación de suelos según el sistema SUCS: SC
- Clasificación de suelos según las normas de la AASHTO: A - 2(6).

Figura 19

Curva Granulométrica (Material de cantera Taparachi)



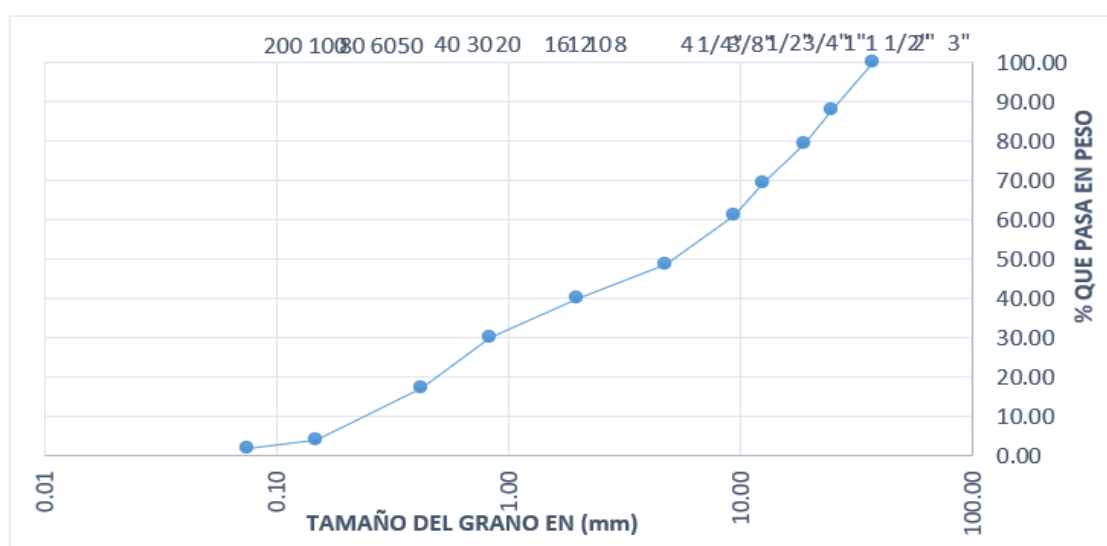
La figura 19 muestra que la distribución granulométrica es compatible con la de una arena arcillosa (SC), clasificada como de calidad regular a deficiente según la clasificación de suelos de la AASHTO (A - 2(6)). Las muestras extraídas no superan los criterios mínimos de granulometría para las subbases granulares, por lo que se añadirá material granular de acuerdo con las normas del MTC. El material retenido hasta el n.º 04 contiene un 44,39 % de grava.

C. Material hormigón cantera Isla:

- Procedente de la cantera de ISLA, con un contenido de finos del 1,83 % según la medición con una criba de malla n.º 200.
- Tamaño de malla: hasta 1 pulgada Tipos de suelo clasificados según el sistema SUCS: GM
- Tipos de suelo según la definición de la AASHTO: A-3(A).

Figura 20

Curva Granulométrica (Material Hormigón cantera Isla)



La arena arcillosa (GM) presenta la distribución granulométrica que se muestra en la figura 20, lo que corresponde a una calificación de aceptable a «deficiente» según la clasificación de suelos de la AASHTO (A-3). Las muestras obtenidas están compuestas por material granular que contiene un 51,27 % de grava (la parte que quedó retenida en el filtro n.º 04). Este material cumple técnicamente los criterios para el diseño de una subbase tal y como se describe en el MTC.

4.1.3. Límites de atterberg o de consistencia MTC E 111

A. Muestra Material Reciclado:

- Limite liquido = 23.84, Limite plástico = 14.19

A juzgar por los datos de la tabla 12, resulta evidente que el material reciclado objeto de estudio presenta un índice de plasticidad superior al requerido para su uso como subbase en el diseño de carreteras pavimentadas de bajo tráfico. Por consiguiente, esta muestra se considera inadecuada y supone el mayor reto de los tres pozos de ensayo que se estabilizarán con el aditivo Con-Aid.

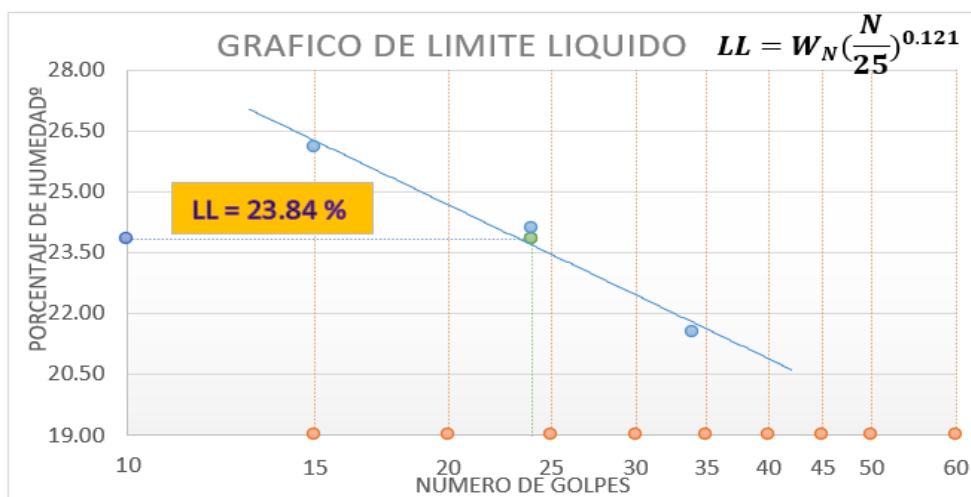
Tabla 12

Comparación de índice de plasticidad (material reciclado)

Ensayo	Material reciclado	Subbase
Índice plástico	9.64%	Max 4%

Figura 21

Grafico de limite liquido (material reciclado)



B. Material natural ligante de cantera Taparachi:

- Limite liquido = 29.51
- Limite plástico = 18.20

En la tabla 13 se observa que el índice de plasticidad del material aglutinante de la cantera de Taparachi es superior al requerido para una subbase granular según el manual de diseño de carreteras. Por consiguiente, este material aglutinante se considera inadecuado y plantea el mayor problema de los tres pozos de prueba que se estabilizarán con el aditivo Con-Aid.

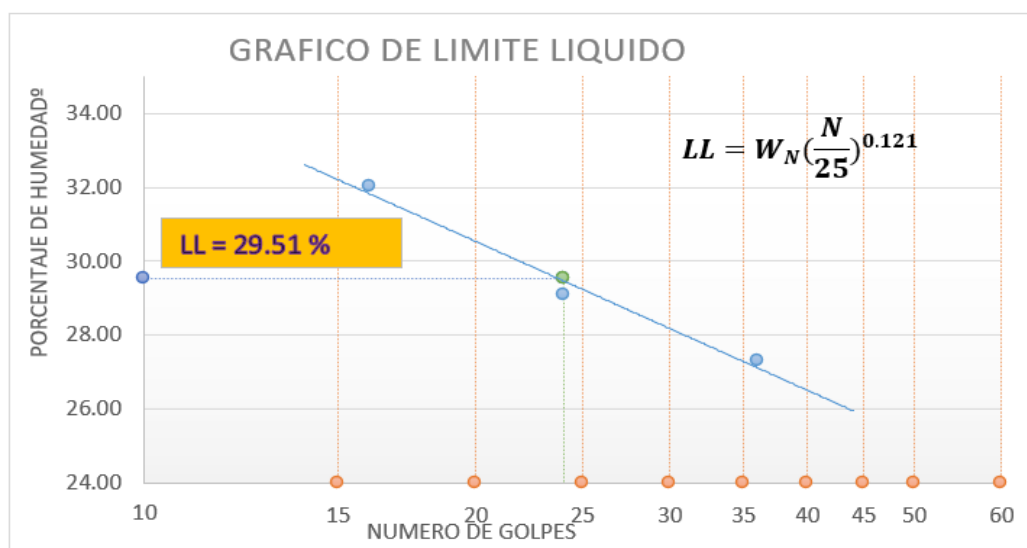
Tabla 13

Índice de plasticidad (material de cantera Taparachi)

Ensayo	Material reciclado	Subbase
Índice plástico	11.32%	Max 4%

Figura 22

Grafico de limite liquido (material de cantera Taparachi)



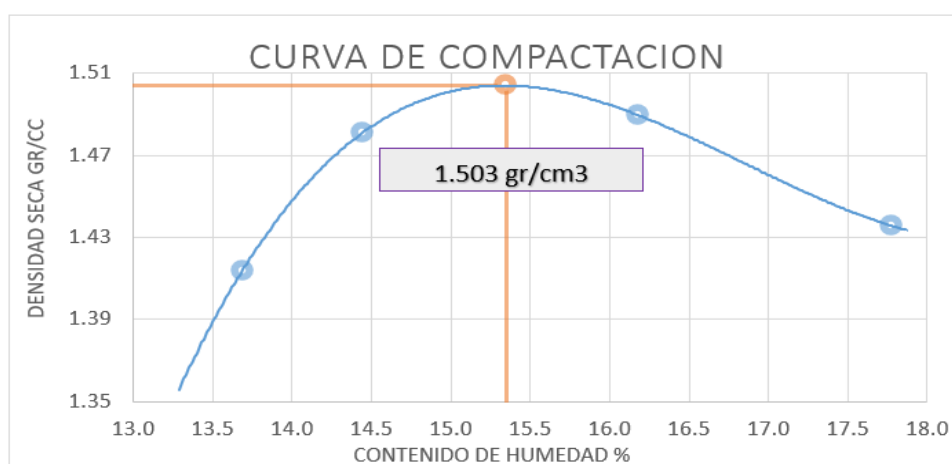
4.1.4. Proctor Modificado MTC E 115

A. Muestra material reciclado:

La figura 23 muestra que, según la técnica AASHTO T 88, las condiciones iniciales para la densidad seca máxima son de $1,503 \text{ g/cm}^3$, y para el contenido de humedad ideal, del 15,34 %. Esto sugiere claramente que otras muestras también arrojarían resultados similares, teniendo en cuenta la dispersión del tamaño de las partículas (que se supone que son de material reciclado).

Figura 23

Curva de compactación (material reciclado)

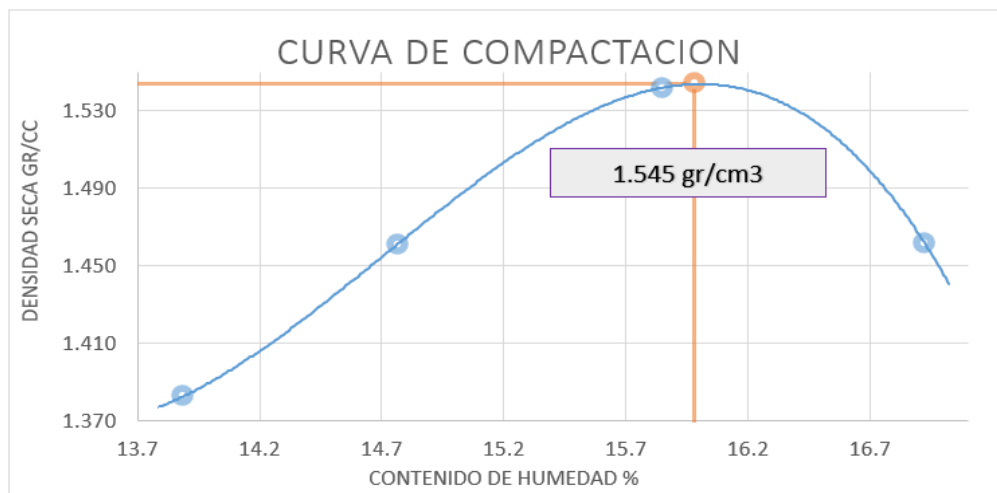


B. Material natural ligante de cantera Taparachi:

Según la figura, el contenido de humedad ideal para este pozo de ensayo es del 15,97 % y las condiciones iniciales para la densidad seca máxima son de $1,545 \text{ g/cm}^3$. Tras seguir estos pasos de acuerdo con la norma AASHTO T 88, pudimos determinar que el árido alcanzaría su punto máximo tras el segundo intervalo. Es necesario estabilizarlo, ya que, tras la compactación, su baja densidad lo haría bastante inestable.

Figura 24

Curva de compactación (material ligante cantera Taparachi)



4.1.5. Valor Relativo de Soporte CBR MTC E 132

A. Muestra natural material reciclado:

La prueba de dilatación ya está en marcha y la muestra se está curando para que podamos comparar los efectos del aditivo con mayor precisión. La muestra se somete a un proceso de humectación antes de sumergirla; se lee el indicador cada 24 horas para obtener un porcentaje medio de dilatación de la muestra, que es del 1,78 %.

Tabla 14

Ensayo de expansión del material reciclado

Muestras	12 golpes	25 golpes	56 golpes	Promedio
Material reciclado	1.01	1.63	2.70	1.78%

El índice CBR del suelo en la muestra de material reciclado es inferior al requerido para la construcción de la subbase granular según el Manual de

Carreteras EG-2013 (véase la tabla 15 más abajo). Por lo tanto, se utiliza la técnica granular con el aditivo Con-Aid para estabilizar el material.

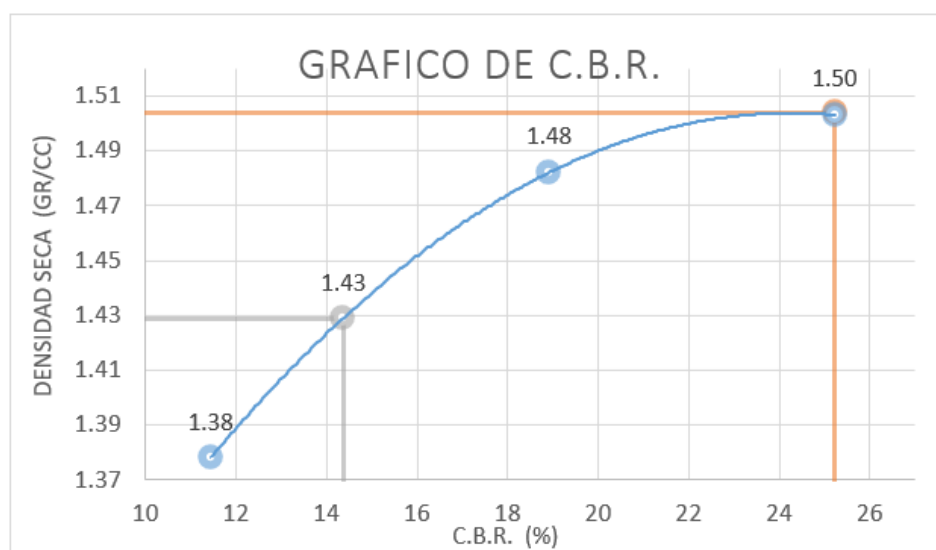
Tabla 15

Comparación del Valor Relativo de Soporte del material reciclado

Ensayo penetración	Material reciclado	Subbase
CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca	14.38%	40%(Min)
CBR al 100% de la Máxima Densidad Seca	25.21%	

Figura 25

Grafico de interacción del comportamiento CBR



B. Material natural ligante de cantera Taparachi:

La muestra se está curando mientras se lleva a cabo el ensayo de dilatación, con el fin de poder realizar una comparación más precisa en relación con la adición del aditivo. La muestra se somete a un proceso de humectación antes de su inmersión; se lee el indicador cada 24 horas para determinar la tasa media de dilatación, que es del 1,43 %.

Tabla 16

Ensayo de expansión (Muestra de cantera Taparachi).

Muestras	12 golpes	25 golpes	56 golpes	Promedio
Cantera Taparachi	1.04	1.45	1.82	1.43%

Los valores de CBR del suelo de la cantera Taparachi, de donde procede la muestra de material natural, son inferiores a los especificados para las capas de base granulares en el Manual de Carreteras EG-2013 (véase la tabla 17 más abajo).

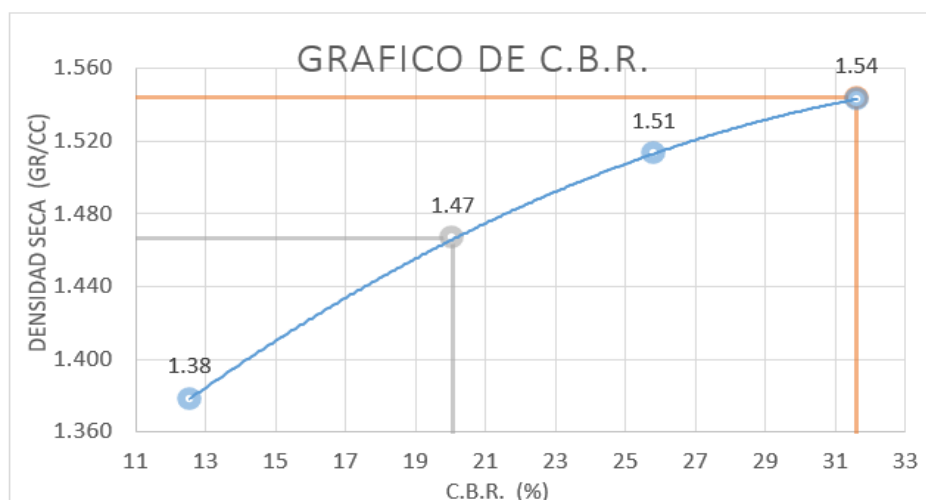
Tabla 17

Comparación del Valor Relativo de Soporte de la Muestra Taparachi.

Ensayo penetración	Cantera Taparachi	Subbase
CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca	20.06%	40%(Min)
CBR al 100% de la Máxima Densidad Seca	31.60%	

Figura 26

Grafico del comportamiento CBR (Taparachi)



4.1.6. Análisis y resultados de la muestra subbase convencional

(70%A.N.+30%H) sin aditivo

A. Diseño granulométrico de la subbase convencional sin aditivo

La subbase granular debe cumplir determinadas especificaciones según la normativa del MTC. En nuestra ciudad de Juliaca, esto se suele hacer utilizando material natural extraído de la cantera de Taparachi y una proporción de 50/50 de hormigón. Sin embargo, en este caso se sugiere una proporción de 70/30, es decir, un 70 % de áridos naturales y un 20 % de áridos de hormigón. Esto cumpliría los requisitos de distribución granulométrica, Proctor y CBR, pero no cumpliría los límites mínimos de Atterberg. Para compensarlo, se añadirá el aditivo Con-Aid, ya que sus propiedades estabilizadoras reducirían el índice de plasticidad de los materiales con una cantidad moderada de arcilla. A continuación, se muestra una tabla con las características mecánicas y físicas de la subbase típica.

Figura 27

Curva de Granulométrica (Material Convencional)

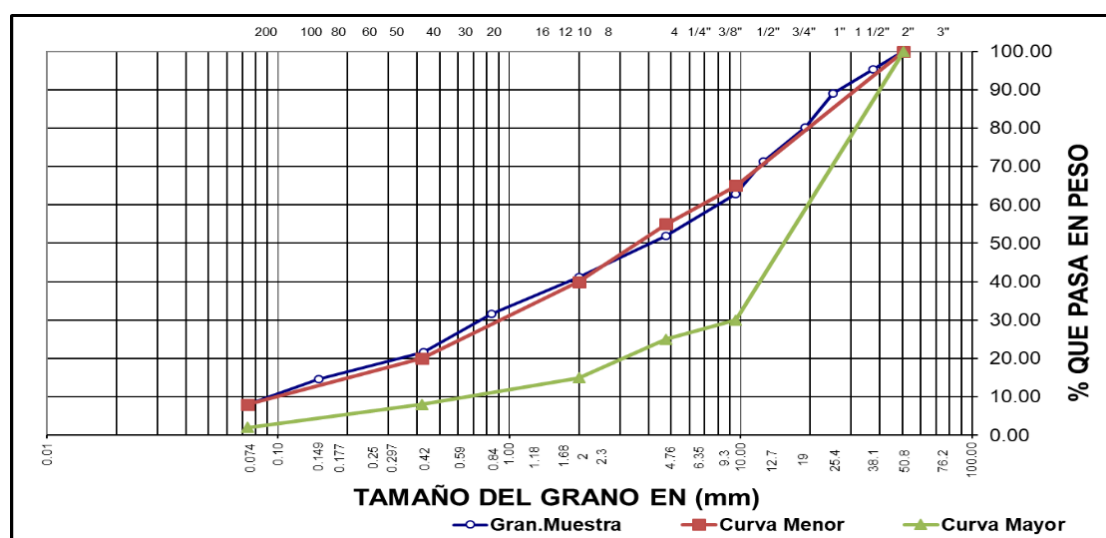


Tabla 18*Resumen de resultados de la subbase convencional*

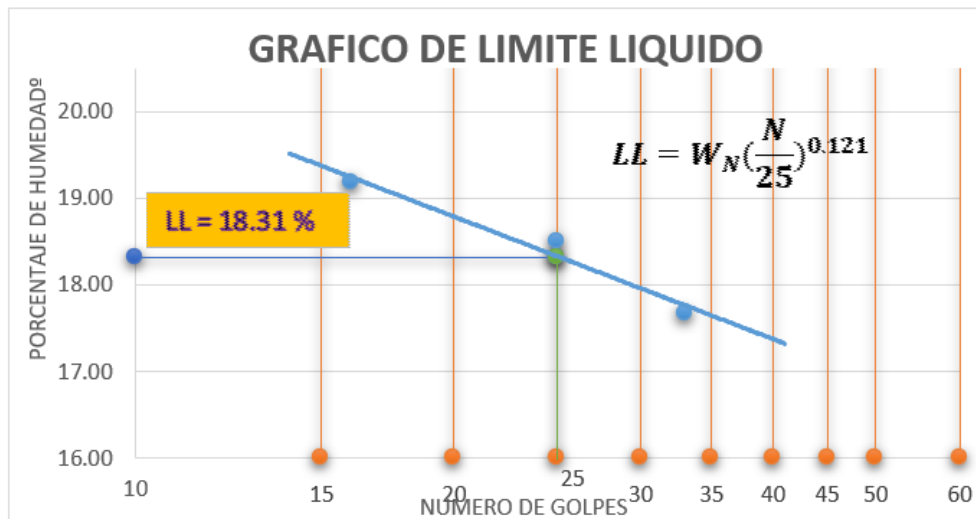
Ensayos	Norma	Resumen de resultados del material convencional 70% A.N - 30% H.	
Clasificación SUCS	ASTM D2487	GC	
Clasificación AASHTO	ASTM D3282	A2-(4)	
Limite liquido	MTC E 110	18.31%	
Limite plástico	MTC E 111	11.78%	
Índice de plasticidad		6.53%	
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	26.4%	
Proctor Modificado	MTC E 115	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.692
		Humedad optima (%)	10.80
CBR	MTC E 132	42.2%	

B. Límites de consistencia subbase convencional sin aditivo

- Limite liquido = 18.31
- Limite plástico = 11.78
- Índice de plasticidad = 6.53%

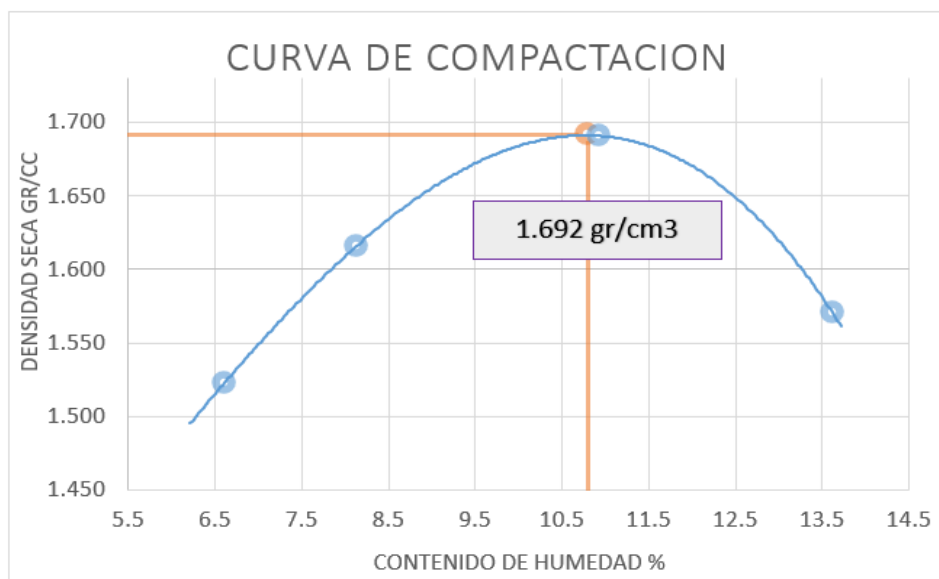
La figura siguiente evidencia que la combinación de material proveniente de la cantera Taparachi y el agregado de hormigón extraído de la cantera Isla presenta resultados que superan los límites establecidos por la sección 402-02 del Manual de Carreteras EG-2013 para la conformación de capas de subbase granular. En consecuencia, dicha mezcla es considerada inadecuada para su uso directo en esta aplicación, representando una condición crítica que requiere intervención mediante un proceso de estabilización para alcanzar los parámetros mínimos exigidos por la normativa vigente.

Figura 28

Grafico de limite liquido (material subbase convencional)**C. Proctor modificado subbase convencional sin aditivo**

Según la norma AASHTO T 88, el árido debe tener un contenido de humedad ideal del 10,80 % y una densidad seca máxima de 1,692 g/cm³.

Figura 29

Curva de compactación (material subbase convencional)

D. Valor relativo de soporte CBR subbase convencional sin aditivo

El ensayo de expansión se ejecutó humedeciendo la superficie de la muestra compactada, procediéndose posteriormente a su inmersión total, con lecturas del dial registradas cada 24 horas. El resultado obtenido para la Subbase Convencional sin aditivo arrojó un porcentaje de expansión promedio de 1.12%.

Tabla 19

Ensayo de expansión (Subbase Convencional sin aditivo)

Muestras	12 golpes	25 golpes	56 golpes	Promedio
Cantera Taparachi	0.93	1.10	1.34	1.12%

A partir de los resultados de la prueba de penetración, se puede observar en la tabla 20 que el índice CBR de la muestra de tierra reciclada (una capa de base tradicional sin aditivos) es ligeramente superior al especificado en el Manual de Carreteras EG-2013 para la construcción de capas de base granulares.

Tabla 20

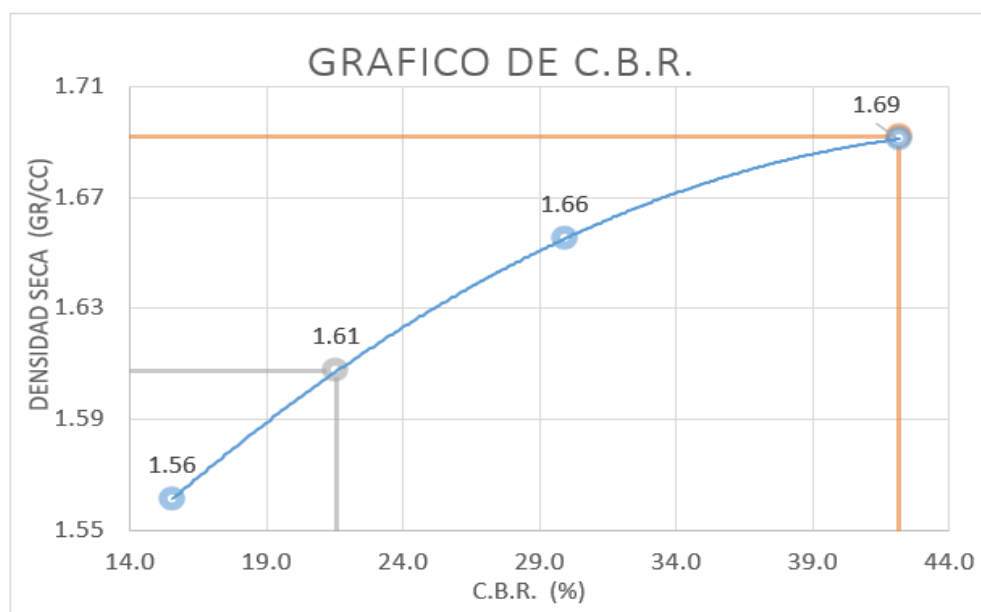
Comparación del valor relativo de soporte de la muestra (subbase convencional sin aditivo)

Ensayo penetración	Cantera Taparachi	Subbase
CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca	21.55%	40%(Min)
CBR al 100% de la Máxima Densidad Seca	42.15%	

Según los datos de interacción del CBR, la densidad en seco y el contenido óptimo de humedad son los puntos en los que la curva alcanza su máximo; además, esto ocurre al 95 % del valor del CBR, que es 21,55.

Figura 30

Curva CBR (material subbase convencional sin aditivo)



4.1.7. Análisis y resultados de la muestra subbase modificada (AR+H) sin aditivo

La subbase granular debe cumplir ciertos criterios establecidos por el MTC, entre los que se incluyen los relativos a las restricciones de consistencia, la distribución granulométrica, el ensayo Proctor modificado y el ensayo CBR; el uso de recursos reciclados de la ciudad de Juliaca, concretamente subbase modificada, será fundamental para nuestro proyecto de estudio. Teniendo en cuenta que nuestros materiales presentan una distribución granulométrica inicial similar, utilizaremos una proporción de 70/30. Esta proporción contiene áridos

gruesos, que cumplirían con las especificaciones de distribución granulométrica, Proctor y CBR, pero no alcanzan los límites mínimos. Para remediarlo, añadiremos el aditivo Con-Aid, que actúa como estabilizador y reduce el índice de plasticidad de los materiales con una cantidad moderada de arcilla. Las características mecánicas y físicas de la subbase tradicional se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 21

Resumen de los ensayos realizados de la subbase modificado

Ensayos	Norma	Resumen de resultados del material reciclado 70% A.R - 30% H.	
Clasificación SUCS	ASTM D2487	GC	
Clasificación AASHTO	ASTM D3282	A2-(4)	
Limite liquido	MTC E 110	15.86%	
Limite plástico	MTC E 111	8.61%	
Índice de plasticidad		7.25%	
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	28.30%	
Proctor Modificado	MTC E 115	Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.748
		Humedad optima (%)	9.50
CBR	MTC E 132	49.41%	

Según la tabla 21 anterior, podemos observar que, si modificáramos el diseño de la subbase añadiendo hormigón al hormigón reciclado (RCD) en una proporción de 70/30, alcanzaríamos la capacidad de carga y la resistencia al desgaste deseadas. Sin embargo, este material no sería fiable ni cumpliría los requisitos de estabilidad habitual, ya que tendría un valor medio en el ensayo de dilatación del 0,93 %. En nuestra evaluación, los parámetros se mantendrían al mínimo y utilizaríamos la adición para reducir el IP.

Figura 31

Curva de Granulométrica (Material Subbase Modificado)

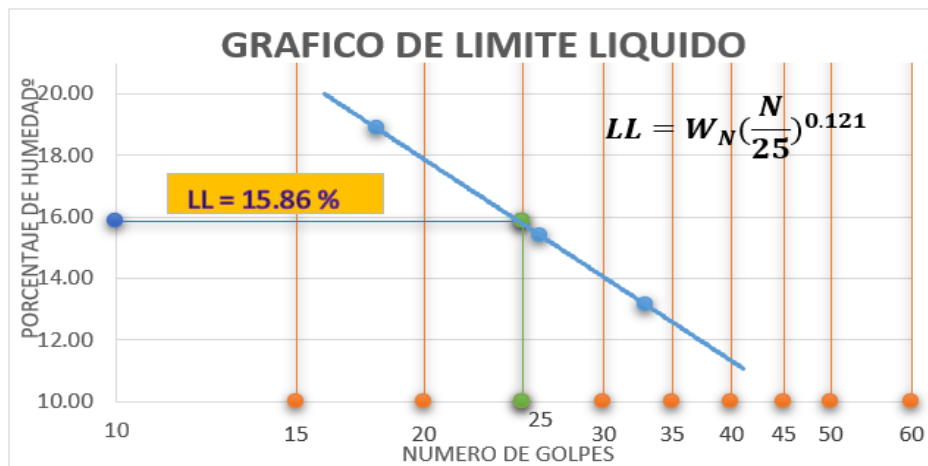


A. Límites de consistencia subbase modificado sin aditivo

- Limite liquido = 15.86
- Limite plástico = 8.61
- Índice de plasticidad = 7.25%

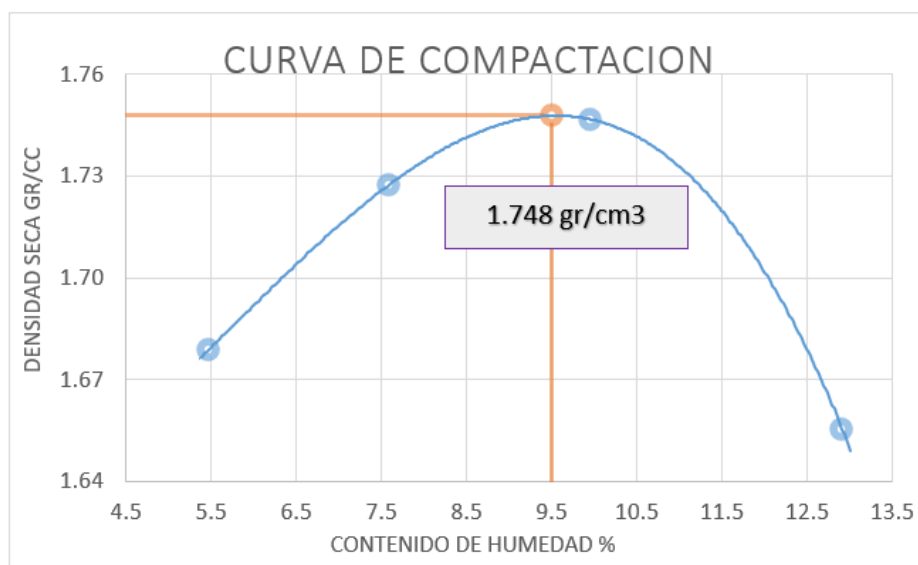
El material destinado a la capa de base modificada se considera inadecuado debido a su índice de plasticidad del 7,25 %, que supera el valor exigido por la norma EG - 2013 para la construcción de capas de base. Las muestras objeto de estudio deberían estabilizarse con el aditivo Con-Aid, ya que su situación es aún más crítica. El material mezclado, que incluye hormigón reciclado y de cantera procedente de Isla, también plantea problemas.

Figura 32

Grafico de limite liquido (material Subbase Modificado)**B. Proctor para la Subbase modificado sin aditivo**

De conformidad con la norma AASHTO T 88, el árido debe tener un contenido de humedad inicial del 9,50 % y una densidad seca máxima de 1,748 g/cm³.

Figura 33

Grafico curva de compactación (material subbase modificada)

C. Valor relativo de soporte CBR subbase modificado sin aditivo

La prueba de dilatación se llevó a cabo humedeciendo la superficie de la muestra compactada para curarla y permitir una evaluación más precisa del efecto del aditivo. Tras la inmersión, se leyó el indicador cada 24 horas para determinar el porcentaje medio de dilatación de la muestra, que resultó ser del 1,17 %.

Tabla 22

Ensayo de expansión muestra (subbase modificada sin aditivo)

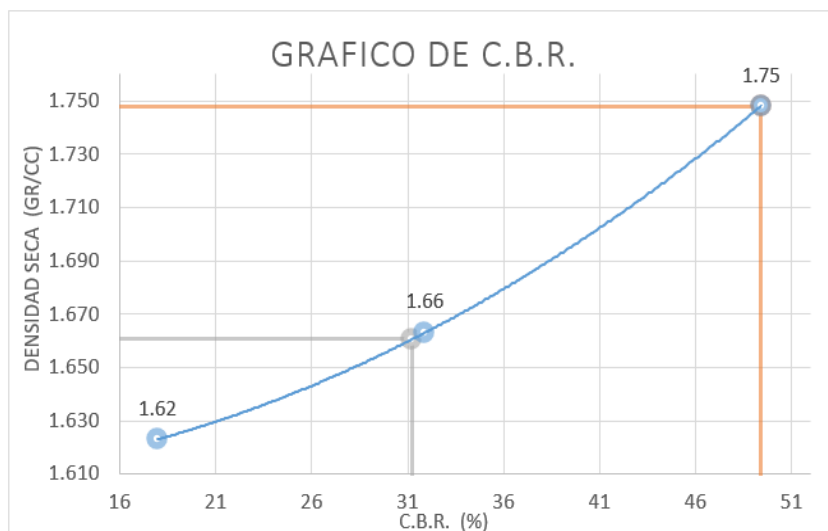
Muestras	12 golpes	25 golpes	56 golpes	Promedio
Cantera Taparachi	0.93	1.10	1.49	1.17%

El CBR del suelo de la muestra de material reciclado (subbase modificada sin aditivos) es ligeramente superior al requerido para la construcción de subbases granulares según el Manual de Carreteras EG-2013, tal y como se muestra en la tabla 23, que corresponde a un ensayo de penetración.

Tabla 23

Comparación del CBR de la muestra.

Ensayo penetración	Cantera Taparachi	Subbase
CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca	31.20%	40%(Min)
CBR al 100% de la Máxima Densidad Seca	49.41%	

Figura 34*Grafico de interacción curva CBR*

4.2. Resultados de las muestras para la conformación como subbase con adición de Con-Aid

4.2.1. Análisis de la Subbase Convencional (70%A.N.+30%H) con la adición de Con-Aid.

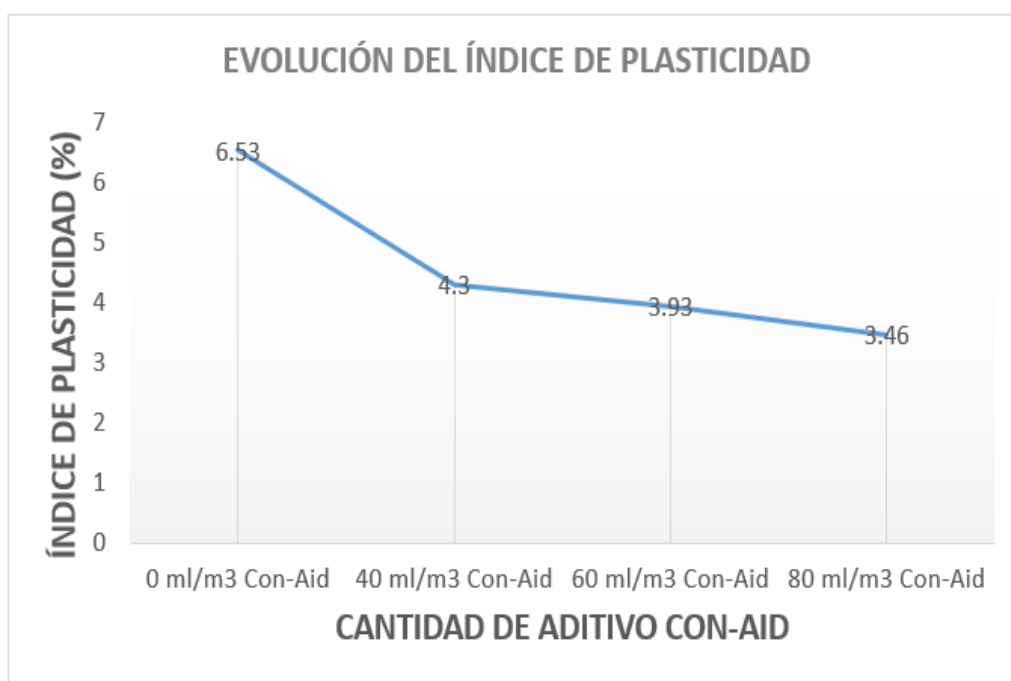
En cuanto a los resultados del laboratorio que respaldan la segunda hipótesis concreta, analizaremos cuál es la proporción óptima de Con-Aid, en mililitros por metro cúbico, para mejorar las características físico-mecánicas de nuestra subbase tradicional (A.N.+H). Con valores que oscilan entre el 42,2 % para la 70AN. + 30H, queda claro que las muestras presentan características similares en cuanto a la capacidad portante indicada por el CBR. Dado que la subbase debe tener al menos un 4 % de plástico, esto superaría el requisito mínimo del 6,53 %.

4.2.2. Límites de consistencia sub. convencional con aditivo Con-Aid

A medida que avanzamos en la evaluación de las mezclas, se comparan los índices de plasticidad de la mezcla de subbase tradicional (A.N. + H) con áridos naturales utilizando los porcentajes mínimos y máximos establecidos en los requisitos para subbases granulares de conformidad con el MTC.

Figura 35

Porcentajes de índice de plasticidad con la adición de Con-Aid



La figura 35 muestra que el índice de plasticidad natural inicial es del 6,53 %, el cual desciende al 3,93 % con 60 ml/m³ de Con-Aid (lo que cumple con las normas establecidas por el manual de diseño de carreteras para la construcción de capas de base granulares), y luego desciende ligeramente hasta el 3,46 % con 80 ml/m³ de Con-Aid (lo que sigue siendo superior a las normas establecidas por la norma mencionada).

Tabla 24

Comparación del índice de plasticidad con adición de Con-Aid.

Subbase convencional 70%A.N.+30%H.	0 ml/m ³ Con-Aid	40 ml/m ³ Con-Aid	60 ml/m ³ Con-Aid	80 ml/m ³ Con-Aid	Subbase granular
L. Líquido (%)	18.31	13.66	11.17	10.30	Max. 25%
L. Plástico (%)	11.78	9.36	7.24	6.83	Ninguno
I. Plasticidad (%)	6.53	4.30	3.93	3.46	Max. 4%

4.2.3. Proctor modificado subbase convencional con aditivo Con-Aid

A simple vista, la figura 36 muestra que el grado de compactación es significativamente mayor cuando se añaden 40 ml/m³ de Con-Aid, con una densidad seca máxima de 1,964 g/cm³, en comparación con el material sin aditivos. La adición de 80 ml/m³ de Con-Aid aumenta aún más el grado de compactación, con una densidad seca máxima de 1,978 g/cm³. Por lo tanto, asumiremos que 60 ml/m³ de Con-Aid es la cantidad óptima, lo que da como resultado una densidad seca máxima de 1,986 g/cm³ para la muestra de la subbase convencional (A.N.+H). Esta disminución se debe a que nuestra muestra contiene más arcilla expansiva, lo que impide que la muestra tratada con aditivo aumente gradualmente su densidad.

Figura 36

Máxima densidad seca con la adición de Con-Aid

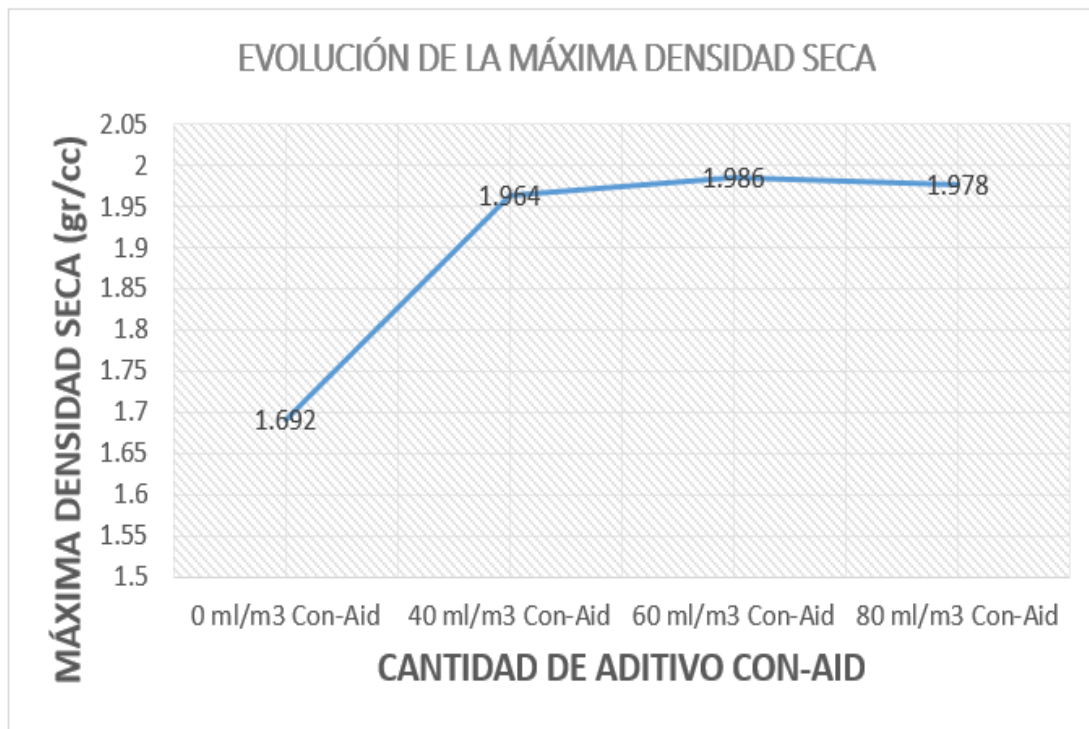


Tabla 25

Máxima densidad seca con la adición de Con-Aid

Subbase convencional 70%A.N.+30%H	0 ml/m3 Con-Aid	40 ml/m3 Con-Aid	60 ml/m3 Con-Aid	80 ml/m3 Con-Aid
Máxima densidad seca(gr/cm3)	1.692	1.964	1.986	1.978

Como se muestra en la figura 37, la adición del aditivo Con-Aid hace que el contenido de humedad del estabilizador aumente aún más en comparación con el contenido de humedad ideal del 10,80 % de la muestra de suelo de la subbase convencional. Con 40 ml/m³, el 12,27 % y el 12,45 %, respectivamente, el contenido de humedad sigue aumentando.

Figura 37

Contenido de Humedad Óptima con la Adición de Con-Aid

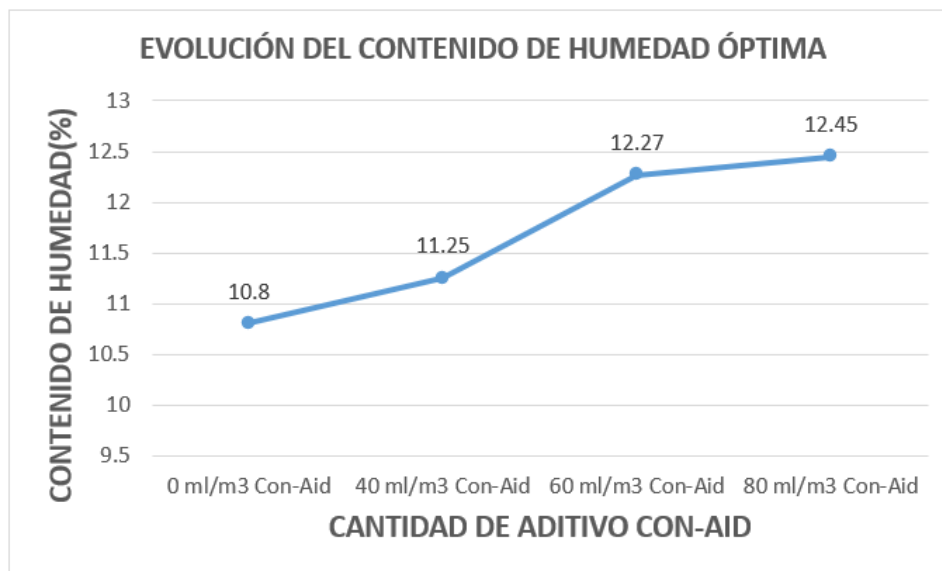


Tabla 26

Contenido de Humedad Óptima con la adición de Con-Aid

Subbase convencional 70%A.N.+30%H	0 ml/m3 Con-Aid	40 ml/m3 Con-Aid	60 ml/m3 Con-Aid	80 ml/m3 Con-Aid
Contenido de Humedad (%)	10.80	11.25	12.27	12.45

4.2.4. Ensayo de valor relativo de soporte CBR subbase convencional con aditivo Con-Aid

La capacidad de carga relativa (CBR) aumenta gradualmente al 100 % de MDS y con una penetración de 2,5 mm, tal y como se muestra en la figura 38 a continuación. Aunque ambas muestras superan la norma MTC, la muestra de Con-Aid de 80 ml/m³ no muestra el aumento constante de resistencia previsto, a diferencia de la muestra de 60 ml/m³, que alcanza un CBR del 71,99 %.

Figura 38

Porcentaje de Índice de CBR con la Adición de Con-Aid

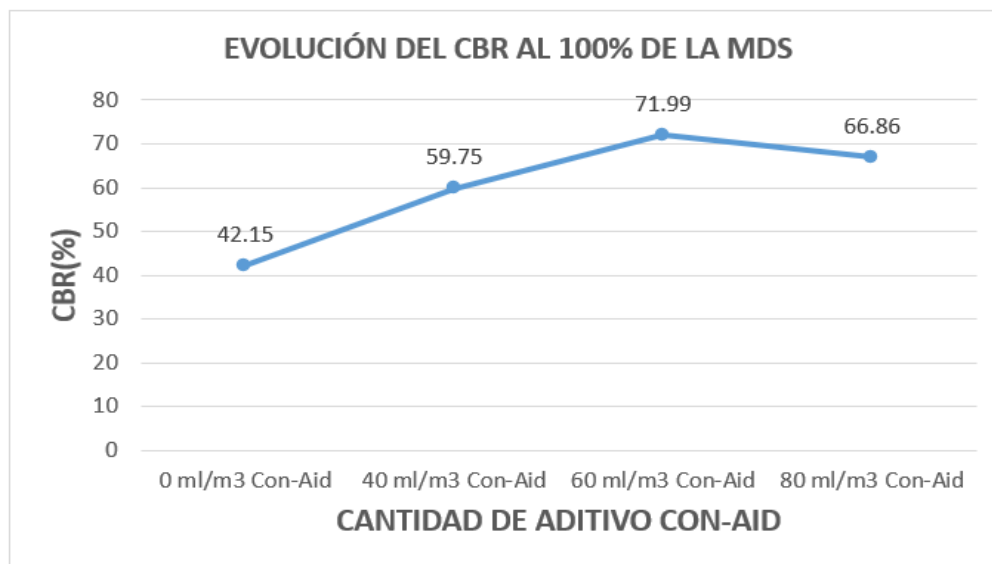


Tabla 27

Porcentaje de expansión con la adición de Con-Aid

Subbase convencional 70%a.n.+30%h	0 ml/m3 Con-Aid	40 ml/m3 Con-Aid	60 ml/m3 Con-Aid	80 ml/m3 Con-Aid	Subbase granular
% Expansión	1.12	0.61	0.54	0.54	Ninguno
CBR 95 (%)	21.25	33.85	45.10	41.30	Ninguno
CBR100 (%)	42.15	59.75	71.99	66.86	Mim. 40%

4.2.5. Obtención de Con – Aid Óptimo Sub – base Convencional

La concentración ideal de aditivo para la estabilización, medida en mililitros por metro cúbico de suelo seco, se determinó mediante una serie de ensayos físico-mecánicos utilizados en el desarrollo del sistema Subbase convencional + Con-Aid. Los ensayos realizados añadiendo diversas cantidades de Con-Aid muestran una mejora considerable, tal y como se indica en el manual

de diseño de carreteras. A continuación, se presenta un resumen de los resultados. No se observa ningún cambio en el CBR tras añadir 60 ml/m³ de Con-Aid a la muestra, lo que utilizaremos como concentración ideal de aditivo. La siguiente fase incluirá la determinación de la proporción ideal de Con-Aid una vez que se hayan revisado los resultados en relación con los requisitos.

4.3. Análisis de la subbase modificada (70%A.R.+30%H) con la adición de Con – Aid.

Estos experimentos nos ayudarán a determinar cómo mejorar en todos los aspectos las muestras de subbase modificadas con A.R.+H, incluidas sus propiedades físicas y mecánicas. La muestra presenta características de capacidad portante que van de buenas a excepcionales, tal y como demuestra el índice CBR, con valores que oscilan entre el 49,41 % para la combinación 70A.R. 30 horas. Este valor es un 4 % superior al índice de plasticidad mínimo exigido, que es del 7,25 %.

4.3.1. Límite de consistencia de la subbase modificada

A medida que avanzamos en la evaluación de las mezclas, se comparan los índices de plasticidad de la mezcla de la capa de base modificada (A.R.+H) con áridos reciclados (RCD) utilizando los porcentajes mínimos y máximos establecidos en los requisitos del MTC para las capas de base granulares.

Tabla 28

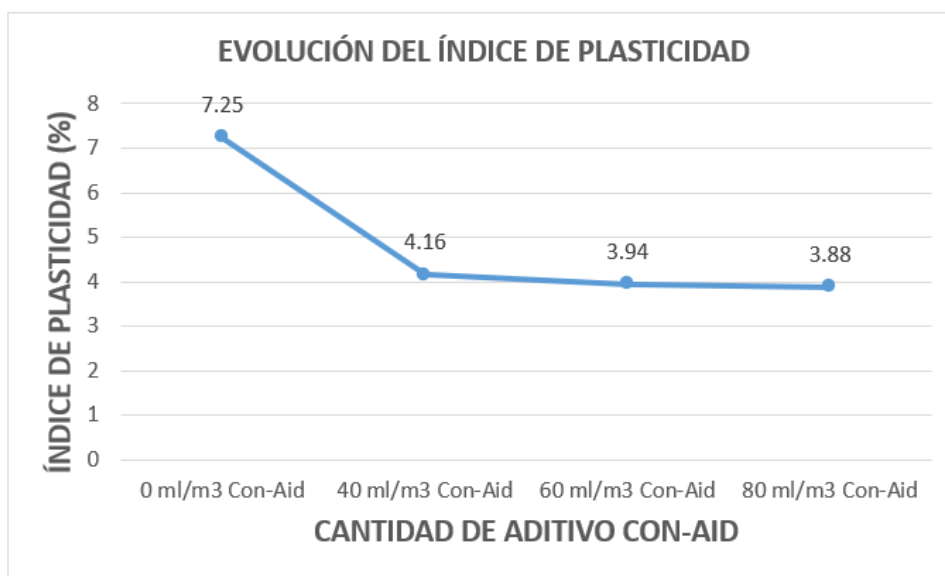
Comparación del índice de plasticidad con adición Con-Aid

Subbase modificada 70%A.R.+30%H.	0 ml/m ³ Con-Aid	40 ml/m ³ Con-Aid	60 ml/m ³ Con-Aid	80 ml/m ³ Con-Aid	Subbase granular
-------------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	------------------

L. Líquido (%)	15.86	10.63	9.33	9.15	Max. 25%
L. Plástico (%)	8.61	6.47	5.40	5.27	Ninguno
I. Plasticidad (%)	7.25	4.16	3.94	3.88	Max. 4%

Figura 39

Porcentajes de Índice de Plasticidad con la Adición de Con-Aid



La figura 39 muestra que el índice de plasticidad natural es del 7,25 %. Al añadir 40 ml/m³ de Con-Aid, el índice de plasticidad desciende al 4,16 %, lo que cumple con las normas del manual de diseño de carreteras para la formación de la subbase granular. Tras añadir 80 ml/m³ de Con-Aid, se produce una ligera disminución del índice de plasticidad hasta el 3,88 %, pero sigue superando los requisitos establecidos por la norma anterior.

4.3.2. Proctor modificado de la subbase modificada

Al añadir 90 ml/m³ de Con-Aid, la densidad máxima en seco del material sin aditivos aumenta de 2,01 g/cm³ a 2,044 g/cm³, tal y como se muestra en la

figura 29. Esto supone un incremento del 32 %. Nuestra muestra contiene arcilla, lo que aumentaría la eficacia del aditivo, y por eso se observa una disminución cuando se añaden 40 ml/m³ de Con-Aid a las muestras de la subbase modificada (A.R.+H).

Tabla 29

Máxima densidad seca con la adición de Con-Aid

Subbase modificada 70%A.R.+30%H	0 ml/m ³ Con-Aid	40 ml/m ³ Con-Aid	60 ml/m ³ Con-Aid	80 ml/m ³ Con-Aid
Máxima densidad seca(gr/cm ³)	1.748	2.01	2.037	2.044

Figura 40

Máxima densidad seca con la adición de Con-Aid.

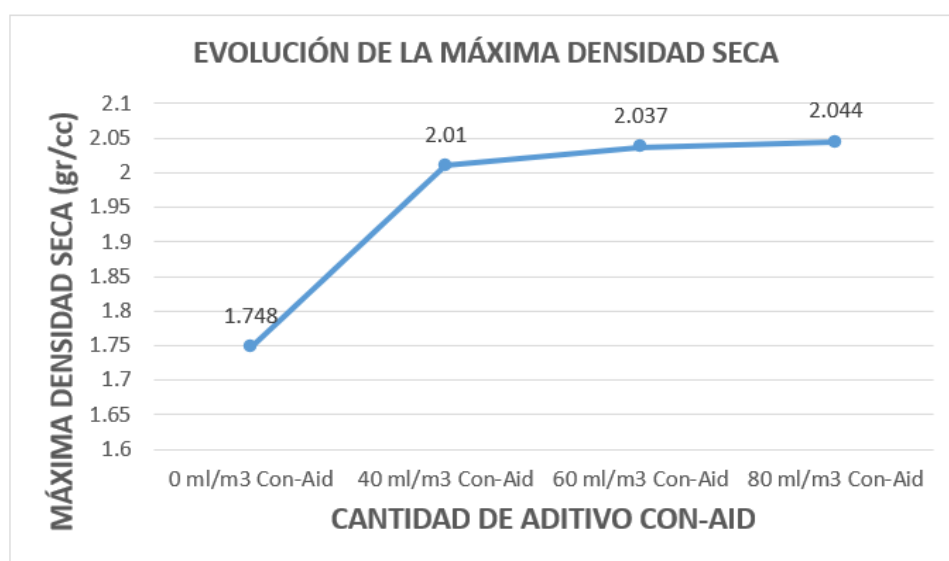


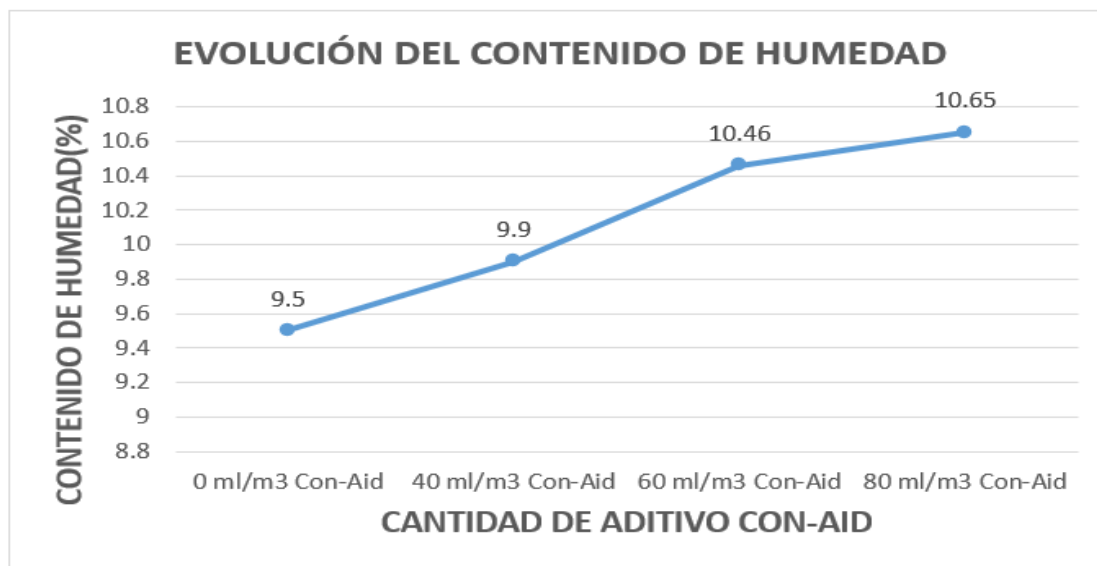
Tabla 30

Contenido de humedad óptima con la adición de Con-Aid

Subbase modificada 70%A.R.+30%H	0 ml/m ³ Con-Aid	40 ml/m ³ Con-Aid	60 ml/m ³ Con-Aid	80 ml/m ³ Con-Aid
Contenido de Humedad Óptima (%)	9.50	9.90	10.46	10.65

Figura 41

Contenido de humedad óptima con la adición de Con-Aid.



La figura 41 muestra que, cuando se añade Con-Aid a la muestra de suelo de la subbase modificada, el contenido de humedad aumenta desde el nivel ideal del 9,50 % hasta el 9,90 %, el 10,46 % y el 10,65 % con dosis de 40 ml/m³, 60 ml/m³ y 80 ml/m³, respectivamente.

4.3.3. Ensayo de Valor Relativo de Soporte CBR

La figura 42 evidencia un incremento progresivo del Valor Relativo de Soporte (CBR al 100% de MDS) a una penetración de 2.5 mm. La dosificación de 40 ml/m³ de CON-AID registró un CBR de 75.58%, mientras que la dosificación de 80 ml/m³ alcanzó un valor de 80.20%, ambos por encima del mínimo exigido por el MTC. Sin embargo, la última dosificación no presentó el incremento de resistencia esperado de manera gradual, lo que sugiere que el aumento en la concentración del aditivo no genera una mejora proporcional en la capacidad portante del suelo.

Figura 42

Porcentaje de Índice de CBR con la Adición de Con-Aid.

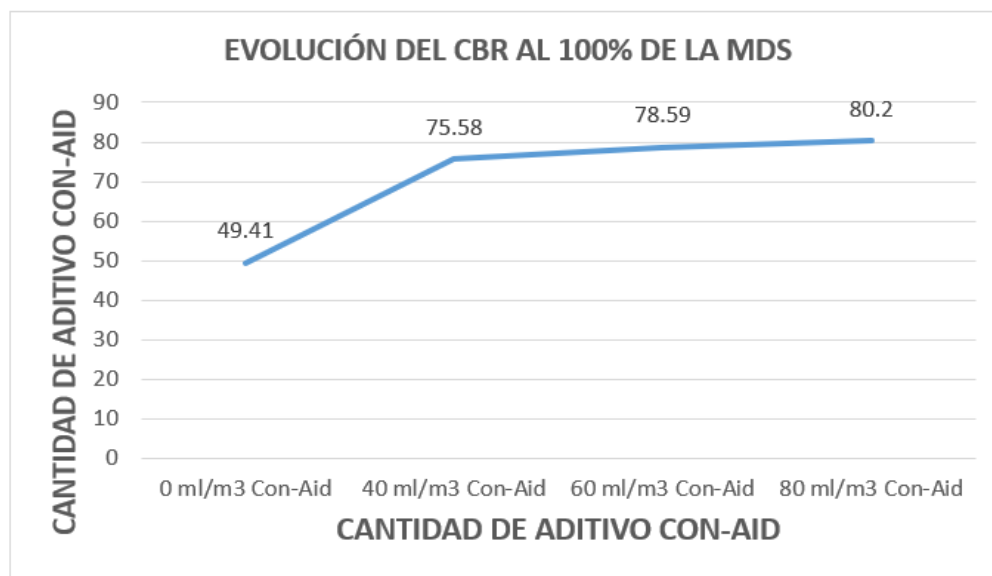


Tabla 31

Porcentaje de expansión con la adición de Con-Aid

Subbase modificada 70%A.R.+30%H	0 ml/m3 Con-Aid	40 ml/m3 Con-Aid	60 ml/m3 Con-Aid	80 ml/m3 Con-Aid	Subbase granular
Ensayo	1.17	0.51	0.50	0.54	Ninguno
% Expansión	31.20	38.40	40.00	41.00	Ninguno
CBR 95 (%)	49.41	75.58	78.59	80.20	Min. 40%

4.3.4. Obtención de Con-Aid óptimo subbase modificada

Como parte del proceso de diseño de la subbase modificada con la incorporación del aditivo Con-Aid, se llevó a cabo una serie de ensayos físicos y mecánicos, de conformidad con el manual de diseño de carreteras, con el fin de determinar la cantidad ideal de aditivo, expresada en mililitros por metro cúbico, en relación con un metro cúbico de residuos de construcción reciclados (RCD)

secos para su estabilización. A continuación, se presenta un resumen de los ensayos que se llevaron a cabo utilizando diversas cantidades de Con-Aid. Los resultados muestran mejoras significativas hasta la muestra de 80 ml/m³, pero por encima de los 40 ml/m³, que se considera la cantidad ideal de aditivo, se observa un aumento del CBR.

4.4. Comparación de los diseños para la subbase granular al añadir el aditivo Con-Aid

4.4.1. *Influencia del aditivo Con – Aid en el diseño de la subbase convencional vs modificada.*

Con el fin de determinar en qué circunstancias el aditivo Con-Aid influye en las características físicas y mecánicas de los materiales de la capa de base convencionales y modificados, se lleva a cabo una comparación basada en los criterios mínimos de ensayo. A continuación, evaluaremos su impacto a partir de estos datos de laboratorio.

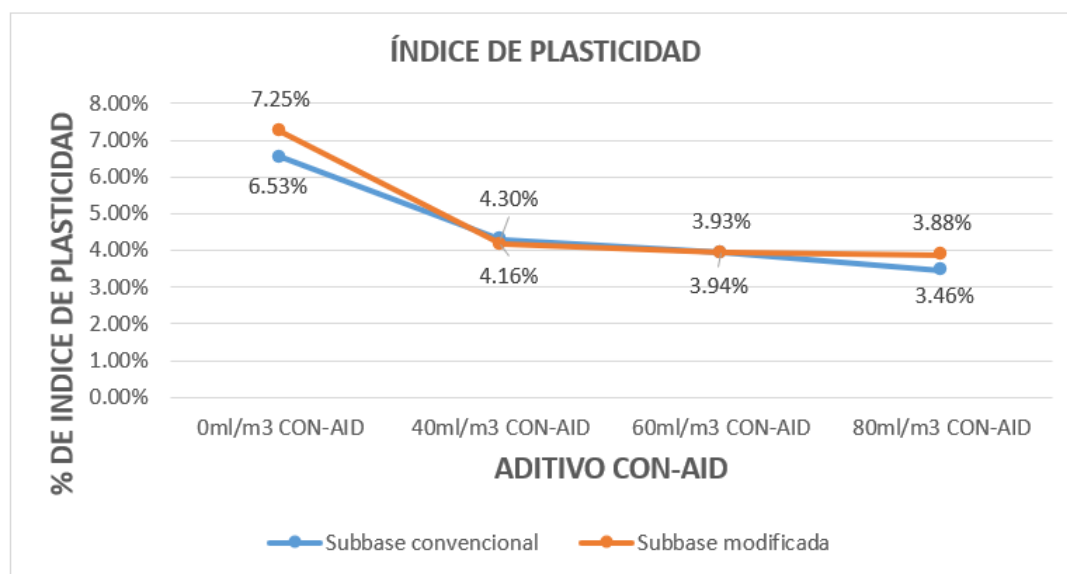
4.4.2. *Influencia del aditivo Con – Aid en el índice de plasticidad*

Añadir una mayor cantidad de nuestro aditivo provoca solo una ligera disminución del índice de plasticidad, como se observa en la figura adjunta; sin embargo, tiene un impacto considerable en la muestra de material de la subbase modificada, reduciendo drásticamente su índice de plasticidad (en un 40 %). La razón de ello es que las partículas de arcilla sufren un intercambio iónico, lo que conduce a una mayor consolidación cuando se elimina el agua. Como resultado, el proveedor recomienda utilizar las cantidades recomendadas del aditivo Con-Aid, que tiene la propiedad de reducir la hinchazón en suelos expansivos como

la arcilla y la arcilla arenosa. Estos resultados respaldan o demuestran esta afirmación.

Figura 43

Influencia del aditivo Con-Aid en el índice de plasticidad



4.4.3. Influencia del Aditivo Con – Aid en el Proctor Modificado.

Las mediciones del tamaño de partícula de nuestros diseños granulares dieron lugar a estos resultados de laboratorio, de conformidad con la SUCS. La subbase se preparó utilizando los materiales, que son arenas arcillosas (SC), de acuerdo con el protocolo del estudio, el cual exigía que se mezclaran con las muestras las cantidades adecuadas tanto de agua potable como de agua tratada.

Se ha observado que la densidad seca máxima es un 15 % mayor en la muestra con aditivo en comparación con la muestra de control; además, a diferencia del material de control, el material de la subbase modificada muestra un ligero aumento de la densidad a medida que aumenta la cantidad de aditivo; sin embargo, cuando la cantidad de aditivo disminuye o se mantiene constante,

la densidad disminuye aún más. Estos resultados respaldarían la afirmación del proveedor de que aumentar la dosis de aditivo no mejora los resultados, ya que 40 ml de Con-Aid por metro cúbico de material es la proporción en la que funciona mejor.

Figura 44

Influencia del aditivo Con-Aid en el Proctor modificado

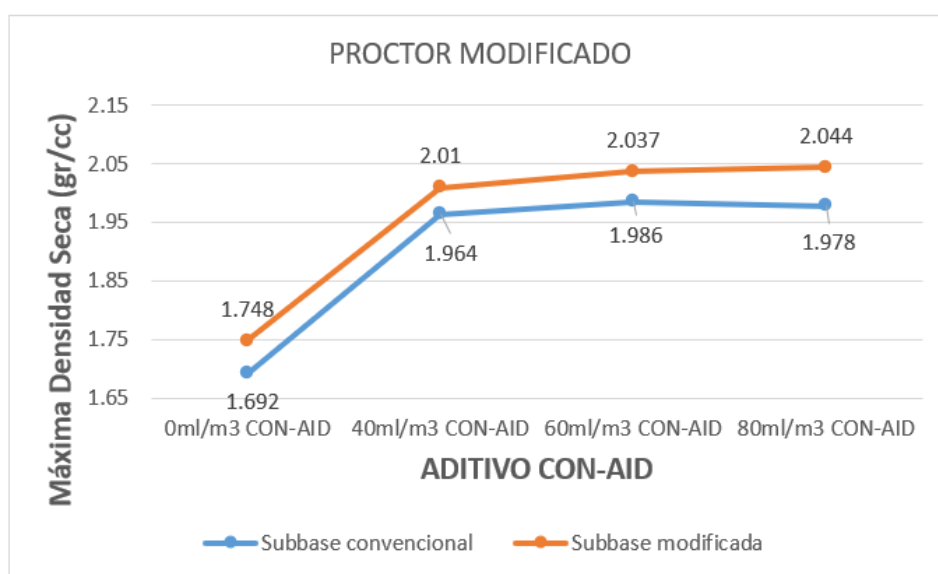


Tabla 32

Resultado del ensayo de contenido de humedad optimo

Con-Aid	0 ml/m3 Con-Aid	40 ml/m3 Con-Aid	60 ml/m3 Con-Aid	80 ml/m3 Con-Aid
Subbase convencional	10.80%	11.25%	12.27%	12.45%
Subbase modifica	9.5%	9.9%	10.46%	10.65%

4.4.4. Influencia del aditivo Con – Aid en el grado de compactación CBR

Consulte la imagen siguiente para comprobar que estas muestras, destinadas a una subbase granular, cumplen las normas MTC EG-2013. Dado

que el material se vuelve hidrófobo durante el tiempo de curado de los moldes de laboratorio, se produce un aumento del 30 % en el CBR cuando se introduce el aditivo. Esto se debe a que el agua se ioniza por completo.

Figura 45

Influencia del aditivo Con-Aid en el CBR

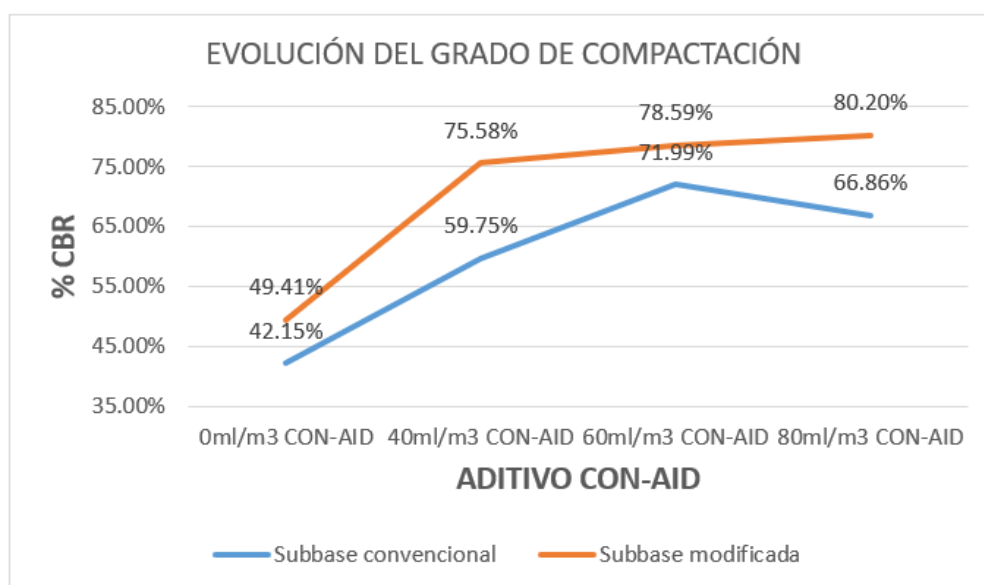


Tabla 33

Análisis comparativo entre la mezcla modificada y la mezcla convencional con incorporación del aditivo CON-AID

Nro.	Descripción	Unidad	Subbase modificada		Subbase convencional		Norma
			Muestra Reciclada	50 ml/m3	Muestra Natural	70 ml/m3	
1	Abrasión Los Ángeles	%	28.30	----	26.40	----	Max. 50%
2	Pasante Nro. 200 Grad. A	%	8.75	7.27	8.13	7.94	Max. 8%
3	Limite liquido	%	15.86	10.63	18.31	11.17	Max.25%
4	Índice de plasticidad	%	7.25	4.16	6.53	3.93	Max. 4%
5	Contenido de humedad	%	9.50	9.90	10.80	12.27	----
6	Máxima densidad seca	gr/cm3	1.748	2.01	1.692	1.986	----
7	CBR al 100%	%	49.41	75.58	42.15	71.99	Min. 40%

4.5. Discusión de resultados

Comparativa vs. Norma

El análisis de los datos revela que la adición del estabilizador (Con-Aid) mejora significativamente las propiedades mecánicas de ambos suelos, aunque existen desafíos específicos con la plasticidad.

Resistencia y Capacidad de Soporte (CBR y Abración)

- Desempeño del CBR: Es el punto más favorable. Ambas muestras naturales ya cumplían con el mínimo del 40%. Sin embargo, con la aplicación de Con-Aid, el CBR se dispara a 75.58% (subbase modificada) y 71.99% (convencional). Esto indica que el estabilizador incrementa la capacidad portante en casi un 50%, superando ampliamente la norma.
- Desgaste: Los valores de Abración Los Ángeles (28.30% y 26.40%) están muy por debajo del límite máximo permitido del 50%, lo cual garantiza que los agregados tienen la dureza necesaria para resistir la degradación.

Propiedades Físicas y Plasticidad (El punto crítico)

- Índice de Plasticidad (I.P.): Aquí se observa el mayor conflicto con la norma. La normativa exige un Máximo de 4%.
 - Las muestras originales estaban muy por encima (7.25% y 6.53%).

- Si bien el Con-Aid logró reducir la plasticidad de forma notable (bajando a 4.16% en la modificada y 3.93% en la convencional), la muestra modificada técnicamente sigue fuera de norma por un margen mínimo (0.16%), mientras que la convencional apenas logra entrar en el límite.
- Límite Líquido: Ambos materiales, tras ser tratados, cumplen cómodamente con el máximo del 25%, situándose en un rango de entre 10% y 11%.

Granulometría (Pasante Tamiz Nro. 200)

La norma establece un Máximo de 8%.

- La Muestra Reciclada original incumplía con 8.75%. Tras la modificación, bajó a 7.27%, logrando así entrar dentro de los parámetros permitidos.
- La Subbase Convencional se mantuvo en el límite (7.94%).

Densidad y Humedad

Se observa un incremento significativo en la Máxima Densidad Seca tras la aplicación del producto (pasando de un promedio de 1.72 a 2.00 gr/cm³). Esto sugiere que el estabilizador facilita un mejor acomodo de las partículas, reduciendo los vacíos, lo que guarda relación directa con el aumento del CBR.

CONCLUSIONES

Primera: Se concluye que la adición del aditivo Con-Aid influye de manera positiva y significativa en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas de la subbase convencional en Juliaca. El uso de este estabilizador iónico permitió optimizar la capacidad de soporte (CBR) y reducir la plasticidad de los materiales, logrando que mezclas que inicialmente no cumplían con los estándares técnicos alcancen los requerimientos de la norma MTC EG-2013.

Segunda: Se determinó que los materiales extraídos de las canteras de forma individual presentan limitaciones para su uso directo como subbase. Mientras que el material de la cantera Taparachi posee propiedades ligantes, el hormigón de la cantera Isla aporta la fracción gruesa necesaria; sin embargo, por separado no satisfacen la curva granulométrica y los índices de plasticidad exigidos (IP de 6.53% en la muestra natural, superior al 4% permitido).

Tercera: La incorporación del aditivo mejoró drásticamente el desempeño de la subbase convencional (mezcla 70% Agregado Natural + 30% Hormigón). Se estableció que la dosificación óptima es de 60 ml/m³, logrando reducir el Índice de Plasticidad de 6.53% a 3.93%, cumpliendo así con el máximo de 4% exigido por el MTC para zonas de gran altitud. Asimismo, la capacidad de soporte (CBR) mostró un ascenso progresivo, superando el valor de 42.2% inicial.

Cuarta: Se demostró la viabilidad técnica de utilizar materiales de construcción y demolición (RCD) provenientes del botadero Chilla para conformar una subbase modificada. Con una dosificación de 40 ml/m³ de Con-Aid, el material reciclado redujo su plasticidad de 7.25% a 4.16% y alcanzó un



CBR de 75.58%. Esto confirma que el material reciclado estabilizado no solo cumple con la normativa, sino que ofrece una resistencia mecánica superior (CBR > 40%) en comparación con las mezclas convencionales sin aditivo

147

RECOMENDACIONES

Primera: Para fomentar el uso de materiales reciclados procedentes del corte y la eliminación en lugar de los convencionales, es necesario investigar más a fondo las distintas proporciones de estabilización mecánica. Sin embargo, este enfoque resultaría costoso y requeriría la adición de un aditivo estabilizador para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas.

Segunda: Recomendamos el uso de esta tecnología mejorada en la capa de rodadura de las carreteras locales para futuros estudios, ya que, tal y como hemos comprobado, presenta una excelente capacidad de carga y, con la incorporación de nuestro componente estabilizador, reduce los límites de Atterberg.

Tercera: Se sugiere evaluar una estabilización mixta (Con-Aid + bajos porcentajes de cemento o cal) para capas de base granular, con el fin de observar si es posible alcanzar resistencias aún mayores que permitan reducir los espesores de la carpeta asfáltica.

Cuarta: Dado que Juliaca presenta heladas y niveles freáticos altos, se recomienda investigar el comportamiento del material estabilizado tras varios ciclos de congelamiento y deshielo, evaluando si la propiedad hidrófoba del aditivo se mantiene inalterada con el paso de los años.

Quinta: La investigación se centró en mezclas con IP inicial de entre 6% y 7%. Sería valioso investigar la eficacia del Con-Aid en suelos de la zona con índices de plasticidad superiores al 15% para determinar el límite de eficiencia del aditivo en suelos extremadamente arcillosos de la región.



BIBLIOGRAFÍA

- Braja, M. D. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cengage Learning.
- Cariapaza, R. (2024). *Estabilización de la sub-rasante mediante la aplicación del aditivo Con-Aid en la Avenida Industrial Salcedo Puno [Tesis de pregrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]*.
- Castillo, J. E. (2018). *Influencia de la aplicación de aditivos químicos en la estabilización de suelos cohesivos para uso como subrasante mejorada de pavimentos entre los sectores Calamarca-Huaso, La Libertad, 2018 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]*.
- Castillo Briceño, J. (2018). *Estabilización por ionización en suelos arcillosos. Revista de Ingeniería Geotécnica*, 12(2), 45–58.
- Chaurasia, A., Mishra, S., & Pawar, P. (2021). *Performance enhancement of black cotton soil and red soil using bio-enzyme Terrazyme. International Journal of Geotechnical Engineering*, 15(4), 321–329.
<https://doi.org/10.1080/19386362.2020.1784321>
- Clauson, L. (2015). *Sustainable materials in highway construction: Green Highway Partnership guidelines*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Condori, M. (2020). *Niveles de investigación en estudios aplicados en ingeniería civil. Revista Científica de la Universidad Nacional de San Agustín*, 8(1), 112–125.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (6.^a ed.). Limusa.
- Del Canto, P., & Silva, M. (2013). *Metodología de la investigación cuantitativa en ciencias de la ingeniería*. Editorial Universitaria.



- Diez, C. (2014). *Evaluación del estabilizador iónico Con-Aid en suelos arcillosos. Revista Iberoamericana de Ingeniería Vial*, 7(2), 33–47.
- Escandón Mejía, R. (2011). *Gestión de residuos de construcción y demolición en el Perú. Ministerio del Ambiente.*
- Esteban, F. (2018). *Diseños explicativos en la investigación vial. Revista Técnica del Colegio de Ingenieros del Perú*, 62(3), 89–102.
- Flor Chávez, J. (2012). *Reutilización de residuos de construcción y demolición en infraestructura vial: Experiencias internacionales. Revista de Ingeniería Civil*, 25(1), 55–70.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill.*
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1973). *Mecánica de suelos (Vol. 1). Limusa.*
- Márquez, J. J. (2006). *Mecánica de suelos: Fundamentos y aplicaciones. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.*
- Meléndez, R. (2005). *Estabilización de suelos en obras viales. Revista de Vías Terrestres*, 9(1), 22–30.
- Mercante, A. (2007). *Gestión integral de residuos de construcción y demolición. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2013). *Especificaciones generales para construcción de carreteras (EG-2013). Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2016). *Manual de ensayos de materiales (EM-2016). Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.*



- Núñez, L. (2015). *Análisis de la estabilización del material de cantera Km 02+700 de la ruta CU-123 San Jerónimo Mayubamba, con la adición de estabilizante iónico* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Quiran, K. (2015). *Estabilización de suelos con productos enzimáticos, como alternativa a la carencia de bancos de préstamo de material en el departamento de Guatemala* [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Rodríguez, M. (2016). *Análisis comparativo de la compactación y humedad de la subrasante natural y la subrasante utilizando productos químicos biodegradables (TerraSil), de la vía ecológica del Cantón Quevedo, provincia de Los Ríos* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo].
- Romero, A. (2024). *Análisis comparativo de los estabilizantes Proes, Conaid y Terrazyme aplicado en subrasantes de vías no pavimentadas* [Tesis de pregrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez].
- Sánchez, H. (2014). *Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector Calcical del Cantón Tosagua Provincia de Manabí* [Tesis de pregrado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí].
- Sánchez, L., Pérez, R., Gómez, T., & Díaz, M. (2021). *Muestreo y diseño experimental en estudios geotécnicos. Revista Latinoamericana de Ingeniería, 14(2), 198–210.*
- TDM. (2011). *Ficha técnica del estabilizador iónico Con-Aid. TDM Solutions S.A.C.*



Valle Áreas, J. (2010). *Estabilización de suelos en la ingeniería vial*. Editorial UPC.

Villalobos, R., & Guevara, M. (2020). *Influencia de estabilizantes químicos en suelos arcillosos para mejorar una subrasante en Lurigancho – Chosica*. *Revista de Ingeniería de Pavimentos*, 11(1), 67–82.

Winterkorn, H. (1991). *Soil stabilization through physicochemical methods*. En F. Hsai-Yang (Ed.), *Advanced soil mechanics* (pp. 145–162). Elsevier.

U. Adekeye, «Effect of Waste Engine Oil on the Geotechnical Properties of Soil of Abandoned Mechanic Villages,» *African Scholar Journal of African Sustainable Development*, vol. 21, nº 2, pp. 277-286, 2021.



ANEXOS



ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA



TITULO: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Método y Técnicas
Problema General: ¿Cómo influye la adición del aditivo Con-Aid para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la subbase convencional en la ciudad de Juliaca, 2025?	Objetivo General: Analizar la influencia de la adición del aditivo Con-Aid para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de la subbase convencional en la ciudad de Juliaca, 2025.	Hipótesis General: La adición del aditivo Con-Aid mejora las propiedades físicas y mecánicas de la subbase convencional en Juliaca, 2025.	Variable Independiente Adición del aditivo Con-Aid	Dosificación	Porcentaje de (40ml, 60ml, 80ml).	Enfoque de investigación: Cuantitativo Nivel de investigación: Según el estudio de la investigación es de nivel explicativo Tipo de investigación: La investigación es del tipo aplicada
Problemas Específicos: ¿Cuáles son las características físico - mecánicas de los materiales extraídos de las canteras para la conformación de la Subbase granular? ¿Cuáles son las propiedades físico - mecánicas del material utilizado en la subbase convencional al incorporar el aditivo Con-Aid? ¿Cuáles son las propiedades físico - mecánicas del material reciclado utilizado en la conformación de una subbase modificada al incorporar el aditivo Con - Aid?	Objetivos Específicos: Determinar las características físico - mecánicas de los materiales extraídos de las canteras para la conformación como Subbase granular. Determinar las propiedades físico - mecánicas de los materiales para la conformación de la subbase convencional con la adición del aditivo Con-Aid. Determinar las propiedades físico - mecánicas de los materiales para la conformación de la subbase modificada (material reciclado) con la adición del aditivo Con-Aid.	Hipótesis Específicos: Los materiales extraídos de las canteras cumplen con las propiedades físico-mecánicas requeridas para su uso como subbase granular. La adición del aditivo Con-Aid mejora las propiedades físico-mecánicas del material utilizado en la subbase convencional. La adición del aditivo Con-Aid mejora las propiedades físico-mecánicas del material reciclado utilizado en la subbase modificada.	Variable Dependiente Propiedades físicas y mecánicas de la subbase convencional	Ensayos de laboratorio	Granulometría Índice de plasticidad Relación densidad-humedad Abrasión Los Ángeles Proctor modificado CBR.	Diseño de la investigación: Experimental Población: De ese modo la población para la presente investigación son las bases granulares de la cantera Taparachi y cantera Isla, puesto que las obras viales, específicamente las bases granulares de la ciudad de Juliaca se construyen con el material de dicha cantera. Muestra: Para la adquisición de la muestra del material para la Subbase Convencional y modificada se extraerán de dos canteras.



ANEXO 02

FICHAS DEL ADITIVO



Ensayos en laboratorio con la adición de CON-AID Súper®

(Para calcular Límites de Atterberg, Proctor, Valor Soporte y Rcs)

Etapas en la Estabilización Iónica:

- **Mezclado del estabilizador en agua de compactación**
- **Difusión iónica**
- **Compactación**
- **Curado**
- **Consolidación final (tránsito, solo en campo)**

Mezclado y difusión:

- Realizar la mezcla de suelo con la solución agua-producto (como las dosificaciones son muy pequeñas, hay que crear una solución con agua, tal de que los valores de dosificación resulten de fácil medición por unidad de peso del suelo a ensayar – **Ver :Dosificación de Con-Aid Súper**) en un contenido de humedad superior en 1 ó 2% por sobre la humedad óptima del mismo suelo sin adición del estabilizador. Se sugiere mezclar todo el suelo necesario para la totalidad de los ensayos previstos.
- Dejar **reposar la mezcla** (suelo-solución agua/producto) aproximadamente 48 hs. dentro del laboratorio sin tapar, manteniendo el contenido de la humedad en un entorno cercano a la óptima (agregando mas agua sola si observara un secado muy rápido).
- Recién luego **realizar los ensayos de clasificación y Proctor** para compararlos con los del mismo suelo sin estabilizar.



Valor Soporte Relativo:

- **Moldear** las probetas a densidad y humedad calculadas con Proctor del suelo estabilizado.
- Dejar las probetas moldeadas "curar" durante 7 días dentro de una bolsa plástica.
- Embebido durante 96hs y ensayo.
- **Notas:**
 - De no poder contar con los valores del Proctor con el estabilizador, se podrá realizar en forma aproximada con los valores de Proctor sin aditivo.
 - Se aconseja realizar además del procedimiento normalizado con suelo natural (sin curado), otra serie con el **mismo proceso de curado que las probetas con Con-Aid.**
 - En esta metodología, **faltaría reflejar la acción del tránsito**, muy positivo para la consolidación final. Ya para esto habría que modificar la norma de ensayo, con todo lo que esto implicaría para justificar luego los buenos resultados.

Resistencia a la Compresión Simple Inconfinada

- Una vez conformada la probeta según norma, también con valores del Proctor con Con-Aid, realizar el mismo procedimiento de curado que en V.S.R., solo que solo 5 días en lugar de 7.



Dosificación de CON-AID Súper:

1) Diluir la cantidad de estabilizador determinada (suministrada **Con-Aid Argentina S.A.** en cada caso – con un rango de **2,5 a 4cm³**) en **1000 cm³** de agua potable. Esta solución agua-producto formada, será el total a aplicar en 100kg de suelo seco.

2) Es decir, que por **cada Kg. de suelo seco** a ensayar se deberán aplicar **10cm³** de **esta solución**.

3) Esto formara parte del agua total necesaria para llevar el suelo a la humedad de compactación (Proctor en suelo mas estabilizador). Se recomienda humedecer primero con agua sola hasta aproximarse a dicha humedad y finalizar con la adición de la solución agua-producto conformada, según los kgs. que se están preparando.

Nota: La dosificación en laboratorio entre 2,5 a 4cm³, representa una dosificación en campo de entre **0.006lts/m²** a **0,008 lts/m²** (**0,15m de espesor**), considerando un valor de Proctor promedio de 1300kg/m³. Este es el rango de dosificación mas usual.

Recomendaciones:

- Se recomienda poner todo el suelo (de una misma clasificación), necesario para realizar todos los ensayos (clasificación, Proctor y CBR, etc.), y dosificarlo todo junto (siempre 1 o 2% por encima de la optima). Con esto se minimizara mas aun el error de dosificación.
- Preparar una nueva solución agua-producto, para cada tipo de suelo, y no a partir de una solución sobrante utilizada anteriormente.

Resultados esperables:

A) Límites de Atterberg:

- **L.L.:** Reducción en 99% de los casos (mas notorio en suelos A-7 y A-6).
- **L.L > 50%** → 15-30% menos.
- **L.L < 50%** → 10% menos.
- **L.P.:** Sin mayores cambios, con un comportamiento disperso. Puede subir ó bajar muy poco → 1-5%
- Luego, a consecuencia de lo anterior hay una reducción del I.P. (Reducción más drástica en suelos expansivos, muy activos).

B) Proctor:

- **Dens. Seca Max.:** Aumenta hasta un 15%. En promedio lo hace entre un 5 y 8 %.
- **Cont. Óptimo de Humedad:** Se registra, en general, una leve disminución.

C) Valor Soporte:

- Suelos **A7-5 – A7-6:** Se registran aumentos entre un 300 a 400%.
- Suelos **A6 – A4.** Aumentos del orden del 100%.

D) Compresión Inconfinada:

- Se registran aumentos de entre un 70-90%, en promedio.

Nota: No se observaran modificaciones en la granulometría de los suelos estabilizados.



ESPECIFICACION TECNICA
ESTABILIZACIÓN IÓNICA EN SUELOS PLASTICOS (m²)

1. DESCRIPCION

Este trabajo tiene por finalidad estabilizar y consolidar la capa superficial destinada a la carretera de bajo tránsito, de manera que asegure la permanencia en el tiempo, del estado y las condiciones alcanzadas por el suelo estabilizado; a pesar de ser sometido a severas sollicitaciones climáticas y de tránsito.

2. MATERIALES

2.1. PRODUCTO ESTABILIZADOR

El producto estabilizador a emplear será del tipo iónico, donde uno de los componentes activos es un aceite sulfonado, tal que diluido en agua y mezclado en la proporción adecuada, permita corregir las propiedades geotécnicas deficientes del suelo (propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas) y que éste alcance propiedades hidrofóbicas. El producto deberá ser líquido para su dilución en el agua de compactación, de fácil almacenamiento y manipuleo; inocuo para las personas, animales y cultivos; no combustible ni corrosivo.

El estabilizador iónico deberá cumplir con los requerimientos siguientes:

PROPIEDADES	VALOR
Aniónico activo (%)	16 como mínimo
Contenido de sólidos (%)	23 como mínimo (Secado a 110°C máximo)
PH	0.45 ± 0.15 (No corrosivo a dilución de trabajo)
Viscosidad (cPs)	600 ± 100 (a 25°C) (Coaxial Rion - Rotor 3 – Bajo rango Modelo VA-04)
Peso específico (a 25°C)	0,98 ± 0,01

2.2. AGUA

El agua a utilizar deberá estar exenta de: sales, aceites, materias orgánicas o cualquier otro contaminante. Deberá tener un pH ≤ 7.5.

2.3. SUELO

La estabilización iónica debe ser efectiva en todo tipo de suelos cuya fracción fina sea plástica o medianamente plástica (IP).

Se excluyen las arenas de baja o ninguna cohesión y los suelos con alto contenido de materia orgánica.



3. PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL PRODUCTO

3.1. PREPARACION DEL AREA DE TRABAJO

Antes de aplicar el estabilizador iónico, la carretera debe ser preparada de acuerdo a los perfiles y niveles especificados en el proyecto. Se deberá proveer a la carretera de cunetas o sistema de drenaje adecuados. La superficie deberá tener una pendiente transversal no menos al 3%.

3.2. EQUIPO DE CONSTRUCCION

La siguiente es una lista de equipos para el tratamiento de una capa de suelo. Estos equipos podrán ser reemplazados o complementados por otros que cumplan funciones similares, de acuerdo a disponibilidad:

- Motoniveladora provista de escarificadores.
- Tanque regador
- Tractor con rastra de discos. Este equipo no es imprescindible, pero para suelos muy cohesivos con presencia de terrones, es preferible contar con él.
- Equipo de compactación. Para suelos arcillosos es preferible un rodillo "pata de cabra". Para suelos más granulares son convenientes los rodillos vibratorios. es deseable, aunque no imprescindible, contar con un rodillo neumático para el sellado final.

3.3. DOSIFICACIÓN DEL PRODUCTO ESTABILIZADOR

La dosificación se expresa como la cantidad de producto estabilizador por metro cúbico de material compactado (para un espesor dado, podría expresarse por metro cuadrado).

La dosificación exacta será suministrada por el fabricante y dependerá de los resultados de los ensayos para cada suelo en particular (límite líquido, límite plástico, granulometría, etc.); sin embargo una aproximación podría ser de 0.007 litros de estabilizador iónico de suelos plásticos por m² de área a estabilizar. Esto considerando una estabilización de 0.15m de profundidad.

3.4. DILUCION

La relación entre producto estabilizador y agua de dilución surgirá de las consideraciones del suelo a tratar, contenido de humedad inicial del mismo, condiciones de evaporación, equipo regador, etc. En el Anexo 01 se muestra los cálculos a utilizar al momento del riego.

3.5. RIEGO

La operación de regado deberá ser tal que:

- Se permita controlar perfectamente la dosificación del producto a disolver en el agua.



Tecnología de Materiales



CON-AID

- Se tenga un sistema de distribución del agua, producto incorporado, uniforme a todo lo ancho del camino a tratar.
- El agua se colocará por pasadas sucesivas del regador, bajo la acción del mezclado de una motoniveladora y/o de otro adecuado para tal fin.

3.6. COMPACTACION

El proceso de compactación deberá realizarse cuando el contenido de humedad sea aproximadamente el óptimo. La compactación se llevará a cabo por los medios mecánicos más adecuados, requiriéndose llegar a una densidad mínima equivalente al 95% del ensayo Proctor que corresponda.

El control del grado de compactación de la capa estabilizada se hará cada determinada longitud (100 ms. como mínimo); la ubicación de la muestra se efectuara de manera aleatoria.

La determinación de la densidad se realizará por el método aprobado por la supervisión.

3.7. TERMINACION

La terminación, en caso de tratarse de una superficie de rodamiento, se efectuará de manera de lograr una superficie lisa, estable, uniforme y libre de grietas, huellas, ondulaciones y materiales sueltos.

3.8. CONSERVACION

La capa tratada deberá ser conservada desde la fecha de su terminación hasta el momento de ser recubierta por la capa superior o hasta la recepción definitiva, en caso de que sea capa de rodadura.

Mayores consideraciones en el proceso constructivo se dan en el Anexo 02 de las presentes especificaciones.

4. MEDICION

La unidad de medida será por metro cuadrado (para un espesor de 0.15m) de material aceptado, colocado y compactado, conforme a lo establecido en el proyecto.

5. FORMA DE PAGO

Los trabajos medidos en la forma especificada, se pagarán al precio unitario establecido por el ítem "ESTABILIZACION IONICA DE SUELOS PLASTICOS". Este precio será compensación total por la provisión, carga, transporte y descarga del estabilizador iónico; por los trabajos de escarificación, aplicación del producto diluido en agua, mezclado del material, compactación, terminación y curado de la capa; y por otra tarea, mano de obra, equipo o material necesario para la correcta ejecución de todas las faenas constructivas.



ANEXO 03

PANEL FOTOGRAFICO











ANEXO 04

ENSAYOS DE LABORATORIO



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

SOLICITANTE : Bach. JHONFH Ray KENNEDY ANCCORI VASQUEZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

CONTENIDO DE HUMEDAD

(ASTM D - 2216 - MTC - E 108 - NTP 400.012)

HUMEDAD AGREGADO FINO

AGREGADO FINO	
P.T. M. HUMEDAD	250.56
P.T.M. SECA	243.75
P. TARRO	21.56
P AGUA	6.81
P.S.SECO	222.19
% HUMEDAD	3.06

HUMEDAD AGREGADO GRUESO

AGREGADO GRUESO	
P.T. M. HUMEDAD	201.45
P.T.M. SECA	199.27
P. TARRO	29.34
P AGUA	2.18
P.S.SECO	169.93
% HUMEDAD	1.28

Observaciones:


GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921
Kevin Quapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA


Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

SOLICITANTE : Bach. JHONFRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANTERA : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

(ASTM C127 - ASTM C128 - NTP 400.037)

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO FINO

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD
1	Peso de la muestra superficialmente seca	gr.	500.00
2	Peso del picnómetro + peso del agua	gr.	1318.51
3	Peso de la arena superficialmente seca + peso del picnómetro + peso del agua	gr.	1621.23
4	Peso de la arena secada al horno + peso de la tara	gr.	508.54
5	Peso de la tara	gr.	22.56
6	Peso de la arena secada al horno (4-5)	gr.	485.98
RESULTADOS			
1	Peso específico aparente $(1/(2+1-3))$	gr/cm ³	2.53
2	Porcentaje de absorción $((1-6)/6)$	%	2.88

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD
1	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr.	700
2	Peso de la probeta aforado + peso del agua	gr.	1318.51
3	Peso de la probeta + peso del agua + peso de la muestra satur. super. Seca	gr.	1726.25
4	Peso de la muestra secada en el horno + peso de la tara	gr.	702.04
5	Peso de la tara	gr.	21.45
6	Peso de la muestra secada al horno (4-5)	gr.	680.59
RESULTADOS			
1	Peso específico aparente $(1/(2+1-3))$	gr/cm ³	2.40
2	Porcentaje de absorción $((1-6)/6)$	%	2.85

Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921

Kevin Quilapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

SOLICITANTE : Bach. JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANTERA : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

PESO UNITARIO

(ASTM C29 / C29M - NTP 400.023)

AGREGADO FINO

Peso unitario suelto

PESO UNITARIO SUELTO				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	9975	9896	9956
Peso del molde	g	6348	6348	6348
Peso del material	g	3627	3548	3608
Volumen del molde	cm3	2161	2161	2161
Peso unitario	g/cm3	1.68	1.64	1.67
Promedio	g/cm3		1.663	

Peso unitario compactado

PESO UNITARIO VARILLADO				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	10220	10225	10230
Peso del molde	g	6348	6348	6348
Peso del material	g	3872	3877	3882
Volumen del molde	cm3	2161	2161	2161
Peso unitario	g/cm3	1.792	1.794	1.796
Promedio	g/cm3		1.794	

Observaciones:


GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC/ 20613137921
Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA


Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

SOLICITANTE : Bach. JHONFRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

PESO UNITARIO

(ASTM C29 / C29M - NTP 400.023)

AGREGADO GRUESO

Peso unitario suelto

PESO UNITARIO SUELTO				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	8975	8965	8985
Peso del molde	g	6007	6007	6007
Peso del material	g	2968	2958	2978
Volumen del molde	cm ³	2161	2161	2161
Peso unitario	g/cm ³	1.37	1.37	1.38
Promedio	g/cm ³		1.373	

Peso unitario compactado

PESO UNITARIO VARILLADO				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	9185	9170	9195
Peso del molde	g	6007	6007	6007
Peso del material	g	3178	3163	3188
Volumen del molde	cm ³	2161	2161	2161
Peso unitario	g/cm ³	1.47	1.46	1.48
Promedio	g/cm ³		1.47	

Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC/20613137921

Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059

**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

SOLICITANTE : Bach. JHONFHRY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : EL MATERIAL EXTRAÍDO DEL BOTADERO CHILLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

ENSAYO DE ABRASIÓN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

(ASTM C 121 / MTC E 207)

PARÁMETROS Y RESULTADOS DEL ENSAYO

Prueba N°:	1
Gradación usada:	A
N° de esferas:	12
N° de revoluciones:	500
Pa = Peso muestra seca antes del ensayo (g):	5,000.0
Pb = Peso muestra seca después del ensayo, lavada sobre tamiz N°12 (g):	3,184.6
Pa - Pb = Pérdida (g):	1,815.4
% de Desgaste:	36.3%
Especificación máxima para subbase:	50%

FÓRMULA DE CÁLCULO

$$\% \text{ Desgaste} = [(Pa - Pb) / Pa] \times 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = [(5000 - 3184.6) / 5000] \times 100 = 36.3\%$$

CONCLUSIÓN

El porcentaje de desgaste obtenido (36.3%) es MENOR al límite máximo permitido (50%), por lo tanto, el material CUMPLE con la especificación técnica para su uso como subbase granular.

Observaciones:

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC/20613137921Kevin Quapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA
Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059

**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

SOLICITANTE : Bach. JHONFHRY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : EL MATERIAL EXTRAÍDO DE LA CANtera TAPARACHI

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

ENSAYO DE ABRASIÓN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

(ASTM C 121 / MTC E 207)

PARÁMETROS Y RESULTADOS DEL ENSAYO

Prueba N°:	1
Gradación usada:	A
N° de esferas:	12
N° de revoluciones:	500
Pa = Peso muestra seca antes del ensayo (g):	5,000.0
Pb = Peso muestra seca después del ensayo, lavada sobre tamiz N°12 (g):	3,537.4
Pa - Pb = Pérdida (g):	1,462.6
% de Desgaste:	29.3%
Especificación máxima para base:	50%

FÓRMULA DE CÁLCULO

$$\% \text{ Desgaste} = [(Pa - Pb) / Pa] \times 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = [(5000 - 3537.4) / 5000] \times 100 = 29.3\%$$

CONCLUSIÓN

El porcentaje de desgaste obtenido (29.3%) es MENOR al límite máximo permitido (50%), por lo tanto, el material de la cantera Taparachi CUMPLE con la especificación técnica para su uso como material de base granular.

Observaciones:

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC/20613137921Kevin Quilapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA
Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059

**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

SOLICITANTE : Bach. JHONFHRY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANTERA : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

ENSAYO DE ABRASIÓN MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

(ASTM C 121 / MTC E 207)

PARÁMETROS Y RESULTADOS DEL ENSAYO

Prueba N°:	1
Gradación usada:	A
N° de esferas:	12
N° de revoluciones:	500
Pa = Peso muestra seca antes del ensayo (g):	5,000.0
Pb = Peso muestra seca después del ensayo, lavada sobre tamiz N°12 (g):	3,961.5
Pa - Pb = Pérdida (g):	1,038.6
% de Desgaste:	20.8%
Especificación máxima para base:	50%

FÓRMULA DE CÁLCULO

$$\% \text{ Desgaste} = [(Pa - Pb) / Pa] \times 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = [(5000 - 3961.5) / 5000] \times 100 = 20.8\%$$

CONCLUSIÓN

El porcentaje de desgaste obtenido (20.8%) es MENOR al límite máximo permitido (50%), por lo tanto, el material de hormigón de la cantera Isla CUMPLE con la especificación técnica para su uso como material de base granular.

Observaciones:

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921Kevin Quapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA
Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059

**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

ROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

SOLICITANTE : Bach. JHONFH Ray KENNEDY ANCCORI VASQUEZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : (MATERIAL RECICLADO) - BOTADERO CHILLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

(ASTM C136 / NTP 400.012 / MTC E 107)

RESULTADOS DE TAMIZADO

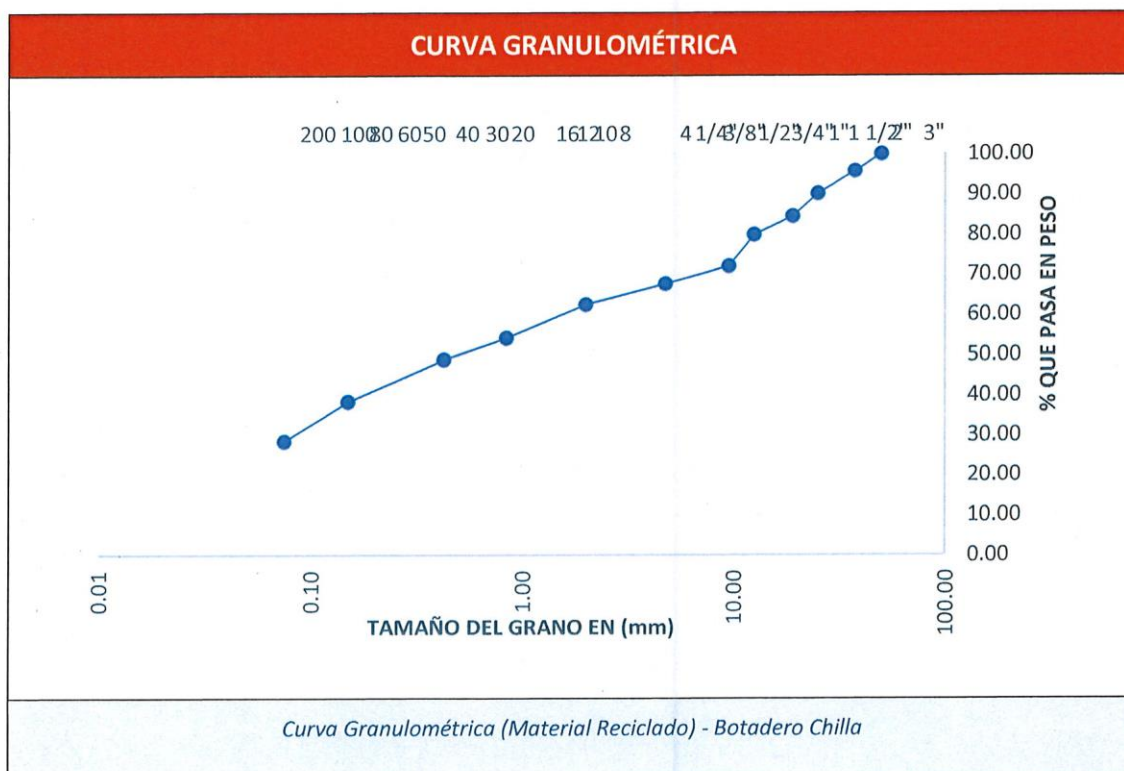
Tamiz	Abertura (mm)	% Ret. Parcial	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
3"	76.200	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	100.00
1½"	38.100	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	100.00
¾"	19.050	2.85	2.85	97.15
1/2"	12.700	5.12	7.97	92.03
3/8"	9.520	4.80	12.77	87.23
N°4	4.760	19.62	32.39	67.61
N°10	2.000	10.45	42.84	57.16
N°20	0.840	8.92	51.76	48.24
N°40	0.425	7.63	59.39	40.61
N°60	0.250	6.18	65.57	34.43
N°100	0.150	5.74	71.31	28.69
N°200	0.075	5.23	76.54	23.46
Fondo	-	23.46	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN Y RESUMEN

Tamaño máximo del tamiz:	1½"
% pasa tamiz 1½":	28.38%
% retenido en tamiz N°4 (grava):	32.39%



% que pasa tamiz N°200 (finos):	23.46%
Clasificación SUCS:	SC - Arena Arcillosa
Clasificación AASHTO:	A-4 (1) - Excelente a Bueno

**CONCLUSIONES**

1. La distribución granulométrica del material reciclado corresponde a una arena arcillosa (SC), clasificada como "excelente" a "buena" según AASHTO (A-4).
2. Las muestras contienen un 32.39% de grava (retenido en tamiz N°4) y 23.46% de finos (pasa tamiz N°200).
3. El tamaño máximo del tamiz es 1½"; el porcentaje de partículas que lo atraviesan es del 28.38%.
4. El material no cumple completamente los requisitos para subbases granulares según la sección 402-02 del Manual EG-2013, debiendo complementarse con material granular adicional.

Observaciones:

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921Kevin Quilapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTAJulio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059

**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

SOLICITANTE : Bach. JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANTERA : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

(ASTM C136 / NTP 400.012 / MTC E 107)

RESULTADOS DE TAMIZADO

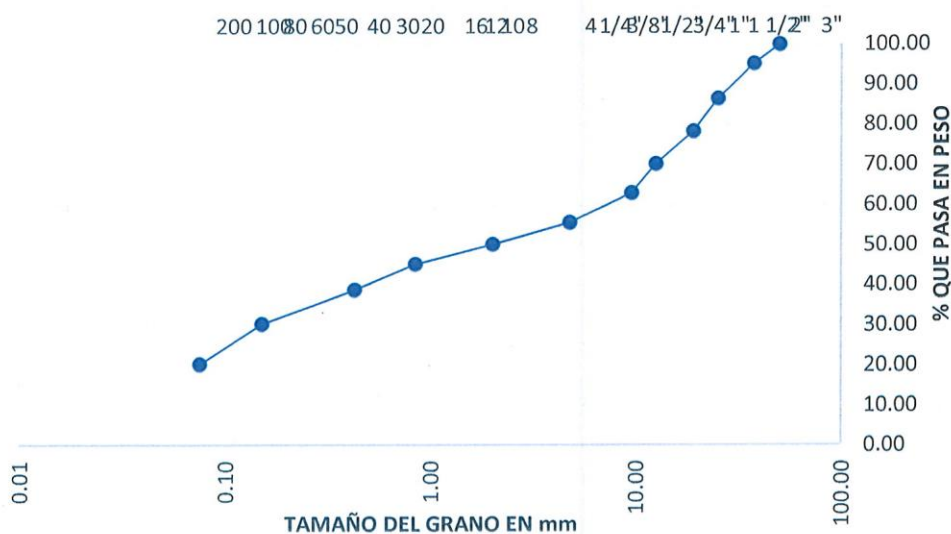
Tamiz	Abertura (mm)	% Ret. Parcial	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
3"	76.200	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	100.00
1½"	38.100	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	100.00
¾"	19.050	17.00	17.00	83.00
½"	12.700	11.00	28.00	72.00
3/8"	9.520	7.00	35.00	65.00
N°4	4.760	9.39	44.39	55.61
N°10	2.000	3.61	48.00	52.00
N°20	0.840	7.00	55.00	45.00
N°40	0.425	10.00	65.00	35.00
N°60	0.250	5.00	70.00	30.00
N°100	0.150	5.00	75.00	25.00
N°200	0.075	4.86	79.86	20.14
Fondo	-	20.14	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN Y RESUMEN

Tamaño máximo del tamiz:	1"
% pasa tamiz 1":	100.00%
% retenido en tamiz N°4 (grava):	44.39%



% que pasa tamiz N°200 (finos):	20.14%
Clasificación SUCS:	SC - Arena Arcillosa
Clasificación AASHTO:	A-2(6) - Regular a Deficiente

CURVA GRANULOMÉTRICA - FIGURA 18

**GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921**
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025

SOLICITANTE : Bach. JHONFHRAY KENNEDY ANCCORI VASQUEZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

(ASTM C136 / NTP 400.012 / MTC E 107)

RESULTADOS DE TAMIZADO

Tamiz	Abertura (mm)	% Ret. Parcial	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
3"	76.200	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	100.00
1½"	38.100	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	100.00
¾"	19.050	25.00	25.00	75.00
1/2"	12.700	10.00	35.00	65.00
3/8"	9.520	10.00	45.00	55.00
N°4	4.760	6.27	51.27	48.73
N°10	2.000	25.73	77.00	23.00
N°20	0.840	10.00	87.00	13.00
N°40	0.425	3.00	90.00	10.00
N°60	0.250	2.00	92.00	8.00
N°100	0.150	3.00	95.00	5.00
N°200	0.075	3.17	98.17	1.83
Fondo	-	1.83	100.00	0.00

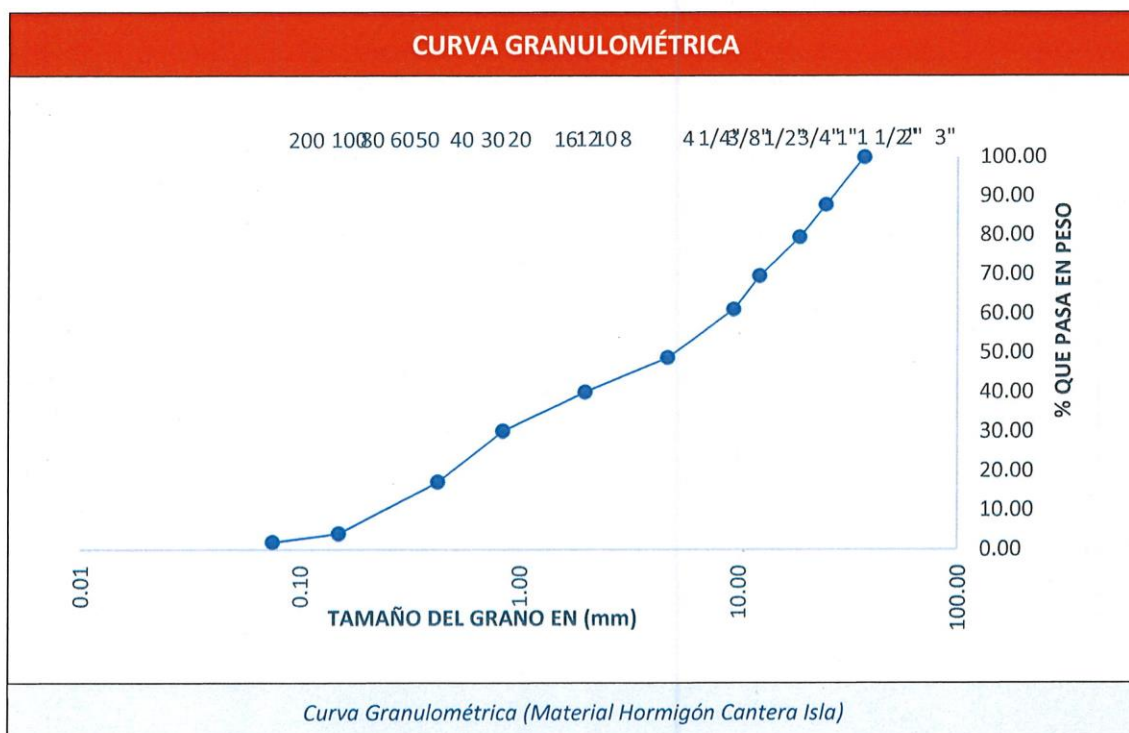
CLASIFICACIÓN Y RESUMEN

Tamaño máximo del tamiz:	1"
% pasa tamiz 1":	100.00%
% retenido en tamiz N°4 (grava):	51.27%



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

% que pasa tamiz N°200 (finos):	1.83%
Clasificación SUCS:	GM - Grava Limosa
Clasificación AASHTO:	A-3(A) - Aceptable a Deficiente



CONCLUSIONES

1. La distribución granulométrica del material de cantera Isla corresponde a una grava limosa (GM), clasificada como aceptable a deficiente según AASHTO (A-3(A)).
2. Las muestras contienen un 51.27% de grava (retenido en tamiz N°4) y 1.83% de finos (pasa tamiz N°200).
3. El tamaño máximo de las partículas es 1"; el 100.00% de las partículas pasa por dicho tamiz.
4. El material cumple técnicamente los criterios para el diseño de una subbase según las normas del MTC, con bajo contenido de finos (1.83%).

Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921

Kevin Quispacoma Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059

ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN**AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV**Formato digital ☒Fecha de entrega: 29-04-2026**1. Datos del autor (es):**Nombres y Apellidos: JHONFH Ray KENNEDY ANCCORI VASQUEZDirección: BARRIO PATRON SANTIAGO S/N / APURIMACDNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 71265417Teléfono: 995702527 email: jhoning79232@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASEscuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVILTítulo o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVILAsesor: M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐Título: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO CON-AID PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA SUBBASE CONVENCIONAL EN LA CIUDAD DE JULIACA, 2025Palabras claves, (3 a 5 términos): CBR, aditivo Con-Aid, canteras, material reciclado¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1, 2}?1, 2¹ 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 Abril del 2026

Fecha