

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**LODO RESIDUAL EN LA ELABORACIÓN DE BASE
GRANULAR EN LA AV. ALAMEDA UNIVERSITARIA,
HUANCAYO, JUNÍN, 2022**

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

Presentado por:

Bach. Riveros Huaynate, Luis Enrique

Asesores:

Ing. Juan José Bullón Rosas

Ing. Cristian Mallaupoma Reyes

Línea de Investigación Institucional:

NUEVAS TECNOLOGÍAS Y PROCESOS

FECHA DE INICIO: diciembre 2022

FECHA DE CULMINACIÓN: febrero 2023

**Huancayo – Perú
2023**

DEDICATORIA

Dedicado a ellos; Kris, Sebastián, Adrián y Daniela mis motores y a Victor y Olinda mis padres.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Juan José Bullón Rosas por su orientación y asesoramiento.

Al Ing. Cristian Mallaupoma Reyes por su compromiso y apoyo.

En memoria del Ing. Julio Nakandakare S.

Bach. Riveros Huaynate, Luis Enrique

CONSTANCIA 133

DE SIMILITUD DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN POR EL SOFTWARE DE PREVENCIÓN
DE PLAGIO TURNITIN

La Dirección de Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería, hace constar por la presente, que el informe final de tesis titulado:

“LODO RESIDUAL EN LA ELABORACIÓN DE BASE GRANULAR EN LA AV.
ALAMEDA UNIVERSITARIA, HUANCAYO, JUNÍN, 2022”

Cuyo autor (a) : Luis Enrique, Riveros Huaynate.

Facultad : Ingeniería

Escuela Profesional : Ingeniería

Civil

Asesor (a) (es) : Ing. Juan Jose, Rosas Bullon

: Ing. Christian, Mallaupoma Reyes

Que, fue presentado con fecha 06.03.2023 y después de realizado el análisis correspondiente en

el software de prevención de plagio Turnitin con fecha 06.03.2023; con la siguiente configuración de software de prevención de plagio Turnitin:

Excluye bibliografía.

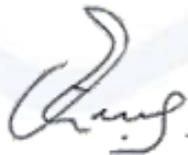
Excluye citas.

Excluye cadenas menores de a 20 palabras.

Otro criterio (especificar)

Dicho documento presenta un porcentaje de similitud de 26%. En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°11 del Reglamento de uso de software de prevención de plagio, el cual indica que no se debe superar el 30%. Se declara, que el trabajo de investigación: si contiene un porcentaje aceptable de similitud. Observaciones: Trabajo de Suficiencia Profesional.

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presenta constancia.



Huancayo 07 de marzo del 2023

Dr. Santiago Zevallos Salinas
Director de la Unidad de Investigación

HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS

Dr. Ruben Dario Tapia Silguera
PRESIDENTE

Mg. Javier Reynoso Oscanoa
JURADO

Mg. Lidia Leonor Almonacid Ordoñez
JURADO

Mg. Gerson Dennis Parejas Sinchitullo
JURADO

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza
SECRETARIO DOCENTE

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I.....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1. Descripción de la realidad problemática	14
1.2. Formulación del problema.....	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problemas específicos.....	16
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
1.4. Justificación.....	17
1.4.1. Social	17
1.4.2. Metodológica.....	18
1.4.3. Teórica.....	18
CAPÍTULO II.....	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes.....	20
2.1.1. Antecedentes internacionales	20
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	23
2.2. Bases teóricas	27
2.2.1. Lodo residual	27
2.2.2. Base granular	33
2.2.3. Ensayos de laboratorio.....	36
2.3. Definición de términos básicos.....	40
2.4. Hipótesis	41
2.4.1. Hipótesis general	41

2.4.2. Hipótesis específicas.....	41
2.5. Variables.....	42
2.5.1. Definición conceptual.....	42
CAPÍTULO III	44
METODOLOGÍA.....	44
3.1. Método de investigación.....	44
3.2. Tipo de investigación	44
3.3. Nivel de investigación	45
3.4. Diseño de investigación.....	45
3.5. Población y muestra	45
3.5.1. Población	45
3.5.2. Muestra	46
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	46
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	48
3.8. Validación de instrumentos de recolección	48
CAPÍTULO IV	49
RESULTADOS	49
4.1. Presentación de resultados.....	49
4.1.1. Lodo residual en la granulometría de la base granular	49
4.1.2. Lodo residual en la capacidad de la base granular	50
4.1.3. Lodo residual en los agregados gruesos de la base granular	52
4.1.4. Lodo residual en los agregados finos de la base granular	53
4.2. Prueba de hipótesis	53
4.2.1. Lodo residual en la capacidad de la base granular	53
CAPÍTULO V	56
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	56
5.1. Presentación de resultados.....	56
5.1.1. Lodo residual en la granulometría de la base granular	56
5.1.2. Lodo residual en la capacidad de la base granular	58
5.1.3. Lodo residual en los agregados gruesos de la base granular	61
5.1.4. Lodo residual en los agregados finos de la base granular	62
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS	72
PANEL FOTOGRÁFICO	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites, concentración y carga de metales	27
Tabla 2. Pruebas microbiológicas para lodos	27
Tabla 3. Lodo residual, propiedades químicas	29
Tabla 4. Lodo residual, humedad y densidad relativa	30
Tabla 5. Gradación granulométrica, base granular	33
Tabla 6. Consideración de valor CBR, base granular.....	33
Tabla 7. Agregado grueso, base granular	34
Tabla 8. Agregado fino, base granular	34
Tabla 9. Tamaño de partículas.....	35
Tabla 10. Suelo según índice de plasticidad.....	37
Tabla 11. CBR, según categoría de subrasante	38
Tabla 12.Operacionalización de variables.....	42
Tabla 13. Tratamientos de investigación	45
Tabla 14. Análisis granulométrico, cantera Chamiseria.....	48
Tabla 15. Fracciones granulométricas, cantera Chamiseria	49
Tabla 16. Compactación, cantera con tratamientos	50
Tabla 17. Capacidad de soporte (CBR), cantera con tratamientos	51
Tabla 18. Agregados gruesos para base granular	52
Tabla 19. Agregados finos para base granular	52
Tabla 20. Análisis de varianza, diseño de bloques completamente al azar – CBR.....	53
Tabla 21. Prueba de Tukey, tratamientos – CBR	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de aguas residuales, Pazos.....	47
Figura 2. Curva granulométrica, cantera Chamiseria	49
Figura 3. Densidad seca máxima, cantera con tratamientos.....	50
Figura 4. Capacidad de soporte (CBR), cantera con tratamientos.....	51

RESUMEN

La investigación, tuvo como problema general la interrogante: ¿Cómo influye el lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022?, el objetivo general fue: Determinar la influencia del lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022. Con la hipótesis general que responde a que: El lodo residual influye en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.

La metodología de investigación fue científica, aplicada e incluyó un nivel experimental para la dosificación de lodos residuales en las proporciones de 7,5%; 8,0%; y 8,5%, además de correlacionarse con el diseño experimental. Un tramo de 500 m de la Av. Alameda Universitaria sirvió como muestra. También cabe señalar que los materiales para la base granular fueron recolectados de la cantera Chamiseria en Acopalca.

Los resultados de las pruebas de laboratorio, evidenciaron que la granulometría del material para base granular cumple con la gradación, al igual que los agregados gruesos y finos que cumplieron con el requerimiento nacional. Teniendo en cuenta que el valor de CBR se incrementó de 56.2% a 64.1% con el aumento de lodo residual seco. Por lo cual se concluye que el lodo residual influye significativamente en la elaboración de bases granulares, en la ciudad de Huancayo.

Palabras clave: **Base granular, cantera, CBR, lodo residual, requerimiento nacional**

ABSTRACT

The general problem of the research is: How does residual sludge affect the preparation of granular base in Alameda Universitaria Avenue, Huancayo, Junín, 2022? The general objective was: To determine the influence of residual sludge in the preparation of granular base in Alameda Universitaria Avenue, Huancayo, Junín, 2022. With the general hypothesis that responds that: The residual sludge significantly influences the elaboration of granular base in the Alameda Universitaria Avenue, Huancayo, Junín, 2022.

The research methodology is scientific, applied and includes an experimental level for the dosage of residual sludge in the proportions of 7.5%; 8.0%; and 8.5%, in addition to correlating with the experimental design. A 500 m stretch of Alameda Universitaria Avenue served as a sample. It should also be noted that the materials for the granular base were collected from the Chamiseria quarry in Acopalca.

The results of the laboratory tests showed that the granulometry of the granular base material complies with the gradation, as well as the coarse and fine aggregates that meet the national requirement. Considering that the CBR value increased from 56.2% to 64.1% with the increase of dry residual sludge. Therefore, it is concluded that residual sludge has a significant influence on the preparation of granular bases in the city of Huancayo.

Key words: **Granular base, quarry, CBR, residual sludge, national requirement.**

INTRODUCCIÓN

La gestión inadecuada de los lodos residuales en la actualidad tiene consecuencias como cambios en los ecosistemas y los consiguientes efectos en la salud pública. Debido a que los métodos de eliminación convencionales, como el vertido en vertederos, en el suelo o en fuentes de agua, pueden resultar muy costosos y peligrosos, la ingeniería global considera que la eliminación final de este tipo de residuos es un gran desafío. Ante esta circunstancia, los países en vías de desarrollo consideran necesario investigar métodos alternativos para la disposición final o reutilización de los residuos resultantes de los procesos de tratamiento en las PTAR (Ingunza, Junior & Medeiros, 2013).

Para alcanzar el objetivo propuesto se inició con el reconocimiento del área de estudio, de la Av. Alameda Universitaria a espaldas de la facultad de ingeniería de la Universidad Peruana Los Andes (UPLA). Se continuó con la recolección de material granular de la cantera Chamiseria y la recolección de lodo de la Planta de aguas residuales de Pazos, para su posterior secado y adición en las proporciones de 7.5%; 8.0% y 8.5% en la elaboración de base granular. Las dosificaciones mencionadas, se aplicaron a los ensayos de compactación y capacidad de soporte (CBR) para base granular.

El contenido de la investigación se desplegó en cinco capítulos. Es así que, en el primer capítulo de planteamiento del problema, se presentó la descripción de la realidad problemática, también se formuló el problema, objetivos y las justificaciones social y metodológica. En el capítulo segundo de marco teórico, se redactó la recopilación de los antecedentes de la investigación a nivel internacional y nacional más cercanos al tema de estudio, así como también se adjuntaron las bases teóricas relacionadas al tema, junto a la definición de términos básicos, las hipótesis y la definición conceptual de las variables. En

el tercer capítulo de metodología, se mostró el método, tipo, nivel, diseño, población y muestra del estudio; así mismo se mostraron las técnicas, instrumentos de recolección y procesamiento de datos. En el cuarto capítulo de resultados, se presentaron los resultados de la investigación correspondientes a los objetivos específicos planteados, así como la prueba de hipótesis para comprobar la influencia del lodo residual seco en la elaboración de bases granulares. En el capítulo quinto de discusión de resultados, se redactaron las discusiones de los resultados de acuerdo a los objetivos específicos planteados. Por último y parte importante, se adjuntaron las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, anexos y panel fotográfico de la investigación.

Bach. Riveros Huaynate, Luis Enrique

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Como consecuencia de la inadecuada gestión de los lodos residuales, actualmente existen inconvenientes como cambios en los ecosistemas y los consiguientes efectos en la salud pública. Debido a que las alternativas tradicionales como la eliminación en vertederos, en el suelo o en fuentes de agua pueden volverse muy costosas y peligrosas, la ingeniería global considera que la eliminación final de este tipo de desechos es un gran desafío.

Si bien los lodos residuales solo constituyen una pequeña porción del volumen total de agua residual tratada, las investigaciones han demostrado que representan cerca del 50 % de los costos operativos en las plantas de tratamiento (U.S. EPA, 2008).

Ante esta circunstancia, los países en vías de desarrollo consideran necesario investigar métodos alternativos para la disposición final o reutilización de los residuos de los procesos de tratamiento en las PTAR (Ingunza, Junior & Medeiros, 2013).

La construcción de obras viales, por otro lado, es una de las principales fuentes de desarrollo para las naciones a nivel mundial; por lo que en la actualidad son prioritarios tanto los pavimentos rígidos como los flexibles, siendo estos últimos los más utilizados por cuestiones económicas.

La gestión de lodos que provienen del tratamiento de aguas residuales es un desafío creciente en los países en desarrollo, siendo así la producción anual de lodo seco ascendente de 7.2 a 13 millones en Estados Unidos y la Unión Europea; en los Estados Unidos los lodos secos son reutilizados en el suelo en forma de biosólidos, que benefician al suelo aportando nutrientes, materia orgánica y mejorando la retención de agua. Otro dato importante es que, debido a los malos olores y la incidencia en la salud de las personas, este tipo de biosólido ha sido rechazado en la sociedad; debido a que los últimos estudios demostraron mayores riesgos de infección, por la presencia de contaminantes como el Norovirus. Por lo que se requiere de métodos adecuados para la eliminación de contaminantes emergentes, incluyendo la recuperación de nutrientes, materiales pesados y energía (Peccia, 2020).

Un ejemplo claro, es el que desarrolló Ecuador en la última década en cuanto a la legislación ambiental y sanitaria, debido a que los instrumentos logísticos, operativos y económicos están orientados a realizar el tratamiento de lodos sanitarios de manera adecuada, siendo el mecanismo de disposición final el secado a la intemperie. Por otro lado, se debe mencionar que los elevados volúmenes de lodo hacen del manejo y disposición de estos más difícil y costoso (Eliminación de bacterias patógenas en lodos residuales durante el secado solar, 2008).

La base granular, según Fonseca (2020), es la capa de un pavimento estructuralmente más significativa. Para lograr este objetivo, la capa base debe estar hecha de materiales que tengan las propiedades de resistencia requeridas. Sin embargo, la mayoría de los pavimentos se encuentran en mal estado debido a que el material granular utilizado para construirlos es insuficiente y de mala calidad, lo que genera fallas estructurales como asentamientos longitudinales y transversales, baches, desplazamientos de recorte, piel de caimán, lengüetas, ahuellamiento, ojo de pez, entre otros.

Las carreteras en el Perú presentan un alto porcentaje de grietas, baches, huecos, surcos y encalado; esto se debe principalmente a que el paquete estructural contiene un material base con propiedades insuficientes, un método de construcción mediocre y condiciones ambientales desfavorables.

De la misma manera, es claro que los pavimentos en Huancayo se encuentran en mal estado debido a que la capa base fue construida con materiales que no se apegaron a las normas técnicas peruanas, no cumpliendo con su función prevista. Las deflexiones altas, las fisuras, las grietas notorias, el drenaje inadecuado del pavimento y la rugosidad inapropiada contribuyen a un bajo nivel de servicio que afecta directamente la comodidad de los residentes.

Para mejorar la resistencia a cargas pesadas, evitar el deterioro prematuro y extender la vida útil del pavimento, se deben implementar nuevas soluciones en la pavimentación de estas carreteras.

La investigación sugirió utilizar lodos residuales en varias proporciones para preparar la base granular para la Av. Alameda Universitaria en Huancayo, Junín, como ya se mencionó en los párrafos anteriores.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye el lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo influye el lodo residual en la granulometría de la base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022?

2. ¿Cómo influye el lodo residual en la capacidad de la base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022?
3. ¿Cómo influye el lodo residual en los agregados gruesos de la base granular de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022?
4. ¿Cómo influye el lodo residual en los agregados finos de la base granular de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Calcular la influencia del lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Calcular la influencia del lodo residual en la granulometría de la base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.
2. Calcular la influencia del lodo residual en la capacidad de la base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.
3. Calcular la influencia del lodo residual en los agregados gruesos de la base granular de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.
4. Calcular la influencia del lodo residual en los agregados finos de la base granular de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.

1.4. Justificación

1.4.1. Social

Según Aguilar (2005), una justificación social se produce cuando puede ser utilizada como alternativa de solución o fuente de información primordial, pero sobre todo cuando se difunde utilizando un lenguaje accesible.

De acuerdo con la definición, la investigación sirvió para evaluar la influencia del lodo residual en la elaboración de base granular para la Av. Alameda Universitaria en la ciudad de Huancayo. Con la finalidad de utilizar un material de desecho que se almacena en las plantas de tratamiento, para así poder reducir el espacio de almacenamiento y determinar el efecto del lodo residual en bases granulares que requieren grandes cantidades de materiales pétreos.

Del mismo modo, la investigación sirvió para dejar referencia a futuras investigaciones que deseen determinar el efecto del uso de lodo residual como material para la elaboración de bases granulares.

1.4.2. Metodológica

Según Espinoza (2014), la justificación metodológica tiene lugar cuando se propone un método para la aplicación de la investigación y este resulta ser una novedad o una técnica aceptable.

De esta forma, la investigación determinó la influencia del lodo residual en la elaboración de base granular, por medio de la granulometría, capacidad de soporte y cumplimiento de requerimientos de materiales para base granular.

1.4.3. Teórica

Según (Castro, 2016), la justificación teórica señala la importancia que tiene la investigación de un problema en el desarrollo de una teoría científica; el cual implica indicar si el estudio permitirá realizar una innovación científica.

La investigación, propuso el uso de lodo residual en la preparación de base granular en la Av. Alameda Universitaria, se buscó optimizar el manejo del lodo para su posterior uso en la base granular, cumpliendo los requisitos que se mencionan en el manual EG – 2013, del MTC, finalmente se dejó un antecedente de los resultados obtenidos para futuras investigaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Ulate (2017) presentó el artículo de investigación titulado “Estabilización de suelos y materiales granulares en caminos de bajo volumen de tránsito, empleando productos no tradicionales”, realizado en San José, Costa Rica, donde el autor mencionó que los estabilizadores se clasifican en dos categorías siendo los tradicionales y los no tradicionales que generalmente son productos orgánicos o químicos y que en los últimos 10 años han sido objeto de investigación. En la investigación realizó pruebas en 8 tramos con diferentes estabilizadores no tradicionales (estabilizador iónico, polvo mineral, cemento e híbrido polimérico) para la mejora de la transitabilidad de caminos no pavimentados; generando un impacto social y positivo para los ciudadanos que se encuentran cerca a dichos caminos.

Cabanilla del Pino (2017), para optar el grado académico de ingeniero civil en su trabajo: “Evaluación ambiental de los impactos que se generarían por la recolección, transporte y disposición de lodos residuales generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en caso de utilizarse como agregado para materiales de construcción”, presentó la viabilidad ambiental y económica de la utilización de lodos residuales domésticos, (PTARD), para ser transformados en agregados para materiales de construcción.

Para determinar la compatibilidad del proyecto con el medio ambiente, se realizó la identificación de impactos a partir de las actividades relacionadas al proyecto: recolección, transporte, disposición final y transformación. Adicionalmente, para determinar la viabilidad económica del proyecto se realizó el presupuesto del PMA y cronograma de operación, obteniéndose un costo aproximado de cuatro mil dólares. Finalmente se estableció en el mercado, que el costo de hormigón con $f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$ es aproximadamente $\$150.17/\text{m}^3$, mientras que el costo de hormigón mezclado (10% de lodos residuales) y similar resistencia es aproximadamente $\$116.38/\text{m}^3$. Si se añade al último, el costo proporcional del PMA, el valor sería de $\$454.31/\text{m}^3$. Sin embargo, este valor disminuyó al incrementarse el volumen de hormigón mezclado como se analizó en el desarrollo del estudio. Se concluyó que mientras mayor es el volumen de hormigón, el costo del hormigón mezclado es más económico que el hormigón tradicional.

Pérez y Vásquez (2020), en su trabajo: “Estudio de una sub base granular estabilizada con Geoestab aplicado a vías terciarias”, mencionó que, si bien algunos estudios han explorado la estabilización con otro tipo de materiales estabilizantes como lo son los asfaltos naturales, los cuales son referentes para esta investigación, teniendo en cuenta que el Geoestab es producto de desechos de petróleo e industriales y en la actualidad no tienen una disposición final, son almacenados en unos campos de infiltración donde reciben un tratamiento químico que disminuyó la contaminación que el Geoestab pueda generar pero no en su totalidad, ya que su almacenamiento a cielo abierto permite que se contamine el suelo y los acuíferos presentes en la zona.

Para tal fin, se realizó el análisis de los ensayos de laboratorio de caracterización para el Geoestab en donde se identificó que es un material híbrido compuesto del 84% en peso

por arenas finas y asfalto en una proporción del 16% en peso, se verifica que la sub base granular clase “A” a utilizar, cumple con los requerimientos de la normativa del INVIAS, a continuación, se realizó la estabilización de la sub base con el Geoestab adicionándolo en dosificaciones del 4, 8, 12, 16 y 20% en peso. Finalmente, se analizó la resistencia de las dos sub bases (Sub base granular sin estabilizar y sub base granular estabilizada con el Geoestab) mediante la comparación de los resultados del ensayo de laboratorio del CBR, en donde se observó una disminución considerable de la resistencia de la sub base cuando se estabiliza con el Geoestab.

Echevarry (2021) desarrolló el trabajo titulado “Estado de conocimiento de lodos residuales de PTAR aplicados a bases y subbases granulares para caminos terciarios: casos de estudio y su posible aplicación en Colombia” para la obtención del título de Ingeniero Civil. El objetivo principal del estudio fue aplicar la comprensión actual de lodos residuales a bases granulares y subbases para caminos terciarios en Colombia. El uso de lodos residuales para la base y subbase de carreteras en Brasil fue identificado como la primera revisión del estado del conocimiento. Caso 2, Subbase granular de lodos residuales de PTAR ecuatoriana. El caso 3 se centró en el uso de lodos sobrantes en Polonia para producir áridos. Finalmente, para el caso 4, la investigación se basó en lodos de depuradora mejorados utilizados en Polonia para construir carreteras. Tras una revisión del estado actual del conocimiento, el autor llegó a la conclusión de que existe suficiente experiencia en el uso de lodos residuales como material de reemplazo parcial para la formación de bases y sub-bases de carreteras granulares en todo el mundo. De igual forma, los resultados del análisis de las propiedades mecánicas de cada estudio apuntan a un buen comportamiento tanto en la normativa colombiana como en las leyes locales de cada país. Adicionalmente, desde el punto de vista de la ingeniería, parece factible utilizar los lodos residuales de la PTAR como

material de reemplazo parcial para la formación de bases y subbases granulares destinadas a caminos terciarios en Colombia.

Reinoso (2017), en su estudio titulado “Análisis comparativo de la resistencia a compresión de ladrillos tradicionales y ladrillos elaborados a base de lodos de la planta de tratamiento de agua potable de la red Casigana, como sustituto parcial de la arcilla”, donde se elaboraron ladrillos tradicionales y ladrillos con lodo de la planta de tratamiento de agua potable, como sustituto parcial de la arcilla, en los porcentajes de 5%, 10% y 15%. Mencionó que es factible el uso del lodo residual de las PTAR, llegando a la conclusión que es una manera sustentable de utilizar los lodos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Carrión y otros (2019) para optar el título profesional de Ingeniero civil, sustentó el informe de tesis titulado “Reutilización de las aguas residuales para la estabilización del material para base granular obtenidos de la cantera Miculla - Tacna, 2018”. Con el objetivo de evaluar la influencia de los efluentes de las aguas residuales de la PTAR Copare en las propiedades y calidad del material de base granular de la Cantera Miculla. Para el desarrollo de la investigación, se empleó material de base granular proveniente de la Cantera Miculla y agua residual proveniente de la Planta de Tratamiento de agua residual Copare del distrito Coronel Gregorio Albarracín L.; posteriormente se realizaron los ensayos de análisis granulométrico por tamizado, porcentaje de partículas fracturadas, partículas chatas y alargadas, abrasión Los Ángeles, equivalente de arena y sales totales para determinar la calidad del material y para determinar la influencia y estabilización del agua residual se realizaron ensayos límite líquido, límite plástico, Proctor modificado y California Bearing Ratio (CBR) para muestras con agua potable y agua residual. Como resultado de la

investigación se obtuvo que para muestras de suelos sin estabilizar (con agua potable) el CBR obtenido fue de 103.78 a 113.76% y límite líquido no determinado y para muestras de suelo estabilizadas (con agua residual) el CBR obtenido fue de 93.27% a 99.72% y límite líquido de 13.636 a 15.072%. Llegó a la conclusión de que el agua residual influye significativamente en la estabilización del material para base granular, ya que el CBR de la base granular estabilizada se redujo y el límite plástico se incrementó.

Soto (2019) para optar el título profesional de Ingeniero civil, sustentó la tesis titulada “Ladrillos refractario de alúmina a partir de lodos residuales minerales en la Región Junín”. Con el objetivo de diseñar ladrillos refractarios de alúmina con características adecuadas para uso en la industria de la construcción, a partir de lodos residuales minerales. Para el desarrollo de la investigación, se recolectó el lodo aluminoso residual de la anterior planta metalúrgica de Yauris, Huancayo que fueron empleados en proporciones de 30%; 50% y 70% posteriormente, los ladrillos elaborados se sometieron a ensayos de alabeo, resistencia a la compresión y resistencia al calor. Como resultado de la investigación se obtuvo que no hubo alabeo debido a que los ladrillos no se deformaron durante el secado, en cuanto al ensayo de resistencia a la compresión los ladrillos con 30% de lodo aluminoso tuvieron una resistencia promedio de 4.99 kg/cm² y los ladrillos con 50% de lodo aluminoso tuvieron una resistencia promedio de 4.26 kg/cm². Llegó a la conclusión de que es viable la aplicación o incorporación del lodo residual en reemplazo parcial de la arcilla, así mismo se concluye que la dosificación adecuada debe ser entre 30% y 50% y que el ladrillo obtenido corresponde a un Bloque NP para muros no portantes.

Lopez y Mendoza (2018), en su trabajo de investigación: “Efecto de las diferentes concentraciones de lodos secos del PTAR COVICORTI para el mejoramiento de suelos áridos”, para ello se utilizaron diferentes concentraciones de lodos secos y se evaluaron las

características fisicoquímicas como: humedad, textura, materia orgánica, densidad aparente y porosidad, así como pH, y conductividad eléctrica. Se realizaron las mezclas de lodos secos y suelos áridos, en las proporciones 20/80, 40/60 y 60/40 respectivamente, homogenizándola y añadiendo agua y removiendo la mezcla cada 10 días, dejando estabilizar por un tiempo de 30 días, después de la estabilización se evaluaron propiedades físicas y químicas.

La tesis, “Mejoramiento de base granular mediante la aplicación de asfalto espumado”, fue sustentada por Buendía (2022), quien decidió seguir la carrera de ingeniero civil. Para determinar cómo se mejora el material base granular mediante la aplicación de asfalto espumado. Hubo niveles explicativos y aplicados al diseño cuasi-experimental de la investigación. La muestra de investigación estuvo conformada por material granular de la cantera Pumpunya, y la evaluación del material se realizó utilizando muestras representativas (4 calicatas) para luego realizar pruebas de laboratorio para ver si el material cumplía con las especificaciones exigidas por la normatividad peruana, para una base granular. Las pruebas que se realizaron fueron las siguientes: análisis granulométrico, índice de plasticidad, partículas con una cara fracturada, partículas con dos caras fracturadas y distribución granulométrica, arena equivalente, California Bearing Ratio (CBR) y durabilidad al magnesio. El autor llegó a la conclusión de que la aplicación de asfalto espumado sobre un material base granular mejora de manera efectiva y significativa la propiedad de resistencia, aumentando la resistencia de 79,4% a 123,9%. Así mismo que el material base granular obtuvo un valor de resistencia de 79,40 % mientras que el material base granular con la aplicación de espuma asfáltica PEN 85/100 alcanzó valores de: 92,80%, 123,90 % y 111,30 % y con resistencia PEN 120/150 valores de: 96,50 %, 118,20 % y 110,80%. En contraste, la mezcla espumada de cemento asfáltico PEN 85/100 y 3,0 % de asfalto tuvo una resistencia a la tracción indirecta de 276,43 KPa en condiciones secas y de

172,37 KPa en condiciones húmedas. La resistencia a la tracción indirecta para la mezcla espumada de cemento asfáltico PEN 120/150 con 3,0 % de asfalto fue igualmente de 259,37 KPa en estado seco y alcanzó un valor de 139,14 KPa en estado húmedo.

La tesis, “Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del pavimento flexible adicionando residuos de construcción y demolición en la base granular, Ilo, 2022”, fue presentada por Mendoza (2022), quien decidió cursar el título profesional de Ingeniero Civil. El objetivo principal del estudio fue evaluar las propiedades físico-mecánicas del pavimento flexible en el Distrito de Ilo en el año 2022 luego de agregar a su base granular residuos de construcción y demolición. El estudio tuvo un nivel explicativo y aplicado y un diseño cuasi-experimental. La muestra estuvo constituida por la base granular que se compone por la Av. 02, Av. 06 y la Av. 04 Promuví VII, sector pampa inalámbrico perteneciente a la Ciudad de Ilo. En la investigación también se realizaron ensayos estandarizados de mecánica de suelos, límites de Atterberg, arena equivalente, análisis granulométrico por tamizado, Proctor modificado, partículas planas y alargadas, CBR, abrasión Los Ángeles y sales solubles. Debido a que los resultados estuvieron en línea con los requisitos y exigencias del reglamento vial Manual Vial: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG-2013) y el reglamento CE, el autor concluyó que el uso de RCD como material granular en la base del pavimento flexible es factible, y que para cuantificar las características físico-mecánicas de la adición de RCD a la base granular del pavimento flexible, fue necesario considerar dosificaciones de RCD al 0 por ciento, 5 por ciento, 10 por ciento, 15 por ciento y 100 por ciento, siendo la altura máxima de la arena de 3,65 mm. El equivalente de arena al 0 por ciento de RCD es de 50,25 %. El equivalente de arena después de una dosis de 5 % de RCD fue 50,41%. El equivalente de arena fue del 50,25 % después de una dosis del 10 %

de RCD. El equivalente de arena fue 50,29 % después de agregar 15 % de RCD. Por último, pero no menos importante, no ofrecieron ningún valor para la dosis de 100% RCD.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Lodo residual

Los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, dependen del tipo de planta de tratamiento y operación; en las plantas de aguas residuales domésticas los lodos se obtienen en el primer y segundo tratamiento (Limón, 2013).

2.2.1.1. Clasificación de lodos residuales

- Lodos primarios

Se crean durante la sedimentación primaria, que implica la eliminación de sólidos sedimentables; el volumen de lodo primario producido está influenciado por la carga superficial y el tiempo de retención hidráulica. El material coloidal se precipita químicamente durante la sedimentación primaria, lo que resulta en una mayor sedimentación (Limón, 2013).

Orellana (2015), presenta los elementos que componen los sólidos biológicos, su uso y disposición bajo el Código de Regulación Federal (CFR).

Tabla 1.*Límites, concentración y carga de metales*

Elemento	Valor límite (mg/kg de materia seca)	Tasa de carga acumulativa	Concentración del componente (mg/kg)	Tasa de carga anual
Arsénico	75	41	41	2.00
Cadmio	85	39	39	1.90
Cromo	-	-	-	-
Cobre	4300	1500	1500	75
Plomo	840	300	300	15
Mercurio	57	17	17	0.85
Molibdeno	75	-	-	-
Níquel	420	420	420	21.00
Selenio	100	100	100	5.00
Zinc	7500	2800	2800	140

Nota. Aporte de Orellana 2015.

El lodo se clasifica como tipo A, donde se cumple con el estándar para el parámetro de atracción de vectores y contenido de metales, pero la detección de organismos patógenos es difícil, de acuerdo con los límites de calidad microbiológica de la EPA, que se muestran en la tabla anterior. Por otra parte, en los lodos de tipo B se pueden encontrar organismos patógenos, por lo que es necesario intervenir en este caso. En este caso, se requieren pruebas microbiológicas en ambos lodos, y los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.*Pruebas microbiológicas para lodos*

Parámetro	Lodo tipo A	Lodo tipo B
Coliformes fecales	<1000 NMP/g o UFC/g	<2000000 NMP/g
Salmonela	<3 NMP/4g	UFC/g
Huevos de Helmito	1 huevo viables/4g	-

Nota. Aporte de Orellana 2015.

- **Lodos secundarios**

Se crean en reactores biológicos y luego se separan o sedimentan en decantadores secundarios, que tienen tolvas en el fondo para recolectar y concentrar los lodos sedimentados. Mediante carga hidráulica y dragas mecánicas que barren el fondo del tanque y empujan los lodos decantados hacia la tolva para su correspondiente extracción, se extrae el lodo decantado (Orellana, 2015).

2.2.1.2. Proceso de manejo de lodos residuales

La aplicación del proceso de lodo activado, también conocido como lodo activo o fango activado, ha aumentado a medida que ha crecido nuestra comprensión de la microbiología, la cinética y la bioquímica relacionada al procedimiento (Aragón, 2009).

La producción de lodos es un proceso continuo y necesita puntos de venta para garantizar una disposición final flexible, segura, rentable y ambientalmente responsable. De lo contrario, los lodos pueden utilizarse en procesos agrícolas; en Europa occidental, entre el 40 y el 50 % de los lodos se utilizan en el proceso de producción de alimentos. Además del alto costo de la incineración y las altas emisiones de gases que produce, el alto contenido de metales de los lodos restringe con frecuencia su uso en la agricultura. Además, está terminantemente prohibido arrojarlo al mar.

En las siguientes líneas, se detalla la constitución de los fangos residuales.

- ✓ Gránulos minerales con una masa específica alta, como arena, limo, escoria y escamas (Rubio, 1976).
- ✓ Materiales floculados o gelificados, como los flóculos biológicos con alto contenido proteico y los flóculos de hidróxidos metálicos, que están formados por partículas coloidales (orgánicas o minerales) con un alto contenido de agua ligado a una baja masa específica (Rubio, 1976).

- ✓ Aceites y grasas de baja masa volumétrica y de carácter hidrofóbico (Díaz, 2016).

Según Hernández (2011), entre otros factores, las características químicas de los lodos tratados dependen del calibre del agua de origen, el tipo de tratamiento y las técnicas de estabilización utilizadas. Las características químicas de los lodos producidos durante las operaciones y procesos de tratamiento de aguas residuales están relacionadas con el contenido orgánico, nutrientes, concentración de metales y concentración de químicos orgánicos tóxicos. La siguiente tabla ilustra algunas de las propiedades químicas (Díaz, 2016).

Tabla 3.

Lodo residual, propiedades químicas

Propiedades	Unidad	Rango
Sólidos totales	%	0.83 - 1.16
Sólidos volátiles	%	59 - 88
Aceites y grasas	%	0.5 - 12
Proteínas	%	32 - 41
Nitrógeno	%	2.4 - 5
Fósforo	%	1.2 - 4.8
Potasio	%	0.4 - 0.5
pH		6.5 - 8.0
Alcalinidad	mg/l (Ca CO ₃)	580 - 1100
Ácidos orgánicos	mg/l (Hac)	1100 - 1700
Contenido de energía	kcal/kg	18500 - 23000

Nota. Fuente, (Hernández, 2011)

2.2.1.3. Características de lodos

En la siguiente tabla, se muestra el nivel de humedad del lodo y la densidad relativa.

Tabla 4.*Lodo residual, humedad y densidad relativa*

Proceso	Humedad del lodo		Densidad relativa	
	Intervalo	Típico	Sólidos	Lodo
Sedimentación primaria	88 - 96	95	1.4	1.02
Filtro percolador	91 - 95	93	1.5	1.025
Precipitación química	-	93	1.7	1.03
Lodos activados	90 - 93	92	1.3	1.005
Tanques sépticos	-	93	1.7	1.03
Tanques Imhoff	90 - 95	90	1.6	1.04
Aireación prolongada	88 - 92	90	1.3	1.015
Lodo primario digerido anaeróbicamente	90 - 95	93	1.4	1.02
Laguna aireada	88 - 92	90	1.3	1.01
Lodo primario digerido aeróbicamente	93 - 97	96	1.4	1.012

- **Acidez volátil**

Para su obtención se utiliza el método indirecto, que utiliza la destilación con vapor ácido. La técnica de alta precisión recupera hasta el 98 por ciento del lodo graso volátil presente en una muestra utilizando la propiedad de ácidos grasos de cadena corta de la extracción con vapor de agua en un medio ácido (González, 2015).

- **Alcalinidad**

Un valor promedio de la capacidad del agua para neutralizar ácidos puede variar significativamente según el punto final de pH utilizado, además de reflejar su capacidad de amortiguación y estabilidad. Es otra de las propiedades agregadas del agua, y solo puede describirse en términos de sustancias particulares cuando se conoce la composición química de una muestra en particular (González, 2015).

Sin embargo, debido a que depende de la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos en el agua, esta característica es crucial para diversas aplicaciones y tratamientos de aguas naturales y residuales (González, 2015).

- **Conductividad**

Se calcula utilizando un medidor de conductividad micro CM 2200, que tiene dos electrodos de vidrio sumergidos en la muestra de prueba. Dado que la conductividad de un líquido depende de su temperatura y está determinada por el otro electrodo, uno de los electrodos determina la temperatura (González, 2015).

2.2.1.4. Deshidratación de lodos

Deshidratar el lodo después de haberlo espesado y estabilizado para que pueda ser transportado por camión u otro medio de transporte en forma sólida. Las concentraciones mínimas de materia seca requeridas para una adecuada evacuación deben ser iguales o superiores al 20% de la materia seca. Para conseguir esta concentración o superior se aconseja el uso de diversos sistemas, como secado, filtración (bandas, vacío, presión, etc.), procedimientos térmicos, centrífugas, etc. Las opciones de disposición final de los lodos obtenidos incluyen los rellenos sanitarios y su reutilización en la agricultura (Díaz, 2016).

Los lodos residuales pueden estar compuestos hasta en un 95 por ciento por agua, por lo que la deshidratación representa un aspecto importante en el manejo (Rubio, 1976).

La deshidratación de lodos es el proceso de eliminación de agua concentrada, lo que hace que los lodos sean más fáciles de manipular, conservar y utilizar (Díaz, 2016). Este resultado se logra porque algunas bacterias no pueden sobrevivir sin la presencia de agua.

2.2.1.5. Secado solar de lodos de depuradora

Según (Díaz, 2016), desde tiempos remotos el hombre ha necesitado de diferentes tipos de energías para producir calor y poder emplearlos, siendo uno de ellos la necesidad del secado que se emplea en las vestimentas y hasta en productos industriales.

El aire caliente que circula sobre la superficie de un material poroso e insoluble se puede utilizar para secarlo si la temperatura y la humedad del material no se ven afectadas por la velocidad del aire caliente (Díaz, 2016). Este método también se puede utilizar para secar otros materiales porosos e insolubles.

La energía solar es la forma más efectiva y también la menos costosa de secar los lodos sobrantes. El almacenamiento de energía es necesario porque el proceso de secado depende de la disponibilidad de energía solar durante el día (Díaz, 2016).

2.2.2. Base granular

La base granular es una actividad que consiste en la construcción de una o más capas de material granular que puede obtenerse naturalmente o procesarse con o sin la inclusión de un agente estabilizador o aglutinante, debidamente aprobado para ser colocado sobre una subbase, subrasante o afirmado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015)

Los materiales base granulares deben cumplir con los requisitos granulométricos, de agregado grueso y de agregado fino especificados en las Especificaciones Técnicas Generales para la construcción del Manual Vial del MTC.

Las especificaciones granulométricas para una subbase granular se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.*Gradación granulométrica, base 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°4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm. (N°10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
425 um (N°40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 um (N°200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Nota. Fuente, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015)

De acuerdo con la tabla mostrada, se debe utilizar la gradación A para altitudes iguales o mayores a 3000 msnm.

Así mismo, se muestra la tabla con los valores de CBR, para una máxima densidad seca del 100% y una carga de penetración de 0.1'' (2.5 mm), que debe de cumplir una base granular.

Tabla 6.*Consideración de valor CBR, base granular*

Valor Relativo de Soporte (CBR)	Tráfico de ejes equivalentes (<math><10^6</math>)	Mínimo 80%
	Tráfico de ejes equivalentes (>math>\geq 10^6</math>)	Mínimo 100%

Nota. Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015)

En la siguiente tabla, se presenta los requerimientos del agregado grueso para una base granular.

Tabla 7.*Agregado grueso, base granular*

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821	-	80% mín.	80% mín.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821	-	40% mín.	50% mín.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% máx.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 223	D 4791	-	15% máx.	15% máx.
Sales solubles totales	MTC E 219	D 1888	-	0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	-	18% máx.

Nota. Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015)

La siguiente tabla, muestra los requerimientos del agregado fino para una base granular.

Tabla 8.*Agregado fino, base granular*

Ensayo	Norma MTC	Requerimiento	
		< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Índice plástico	MTC E 111	4% máx.	2% mín.
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín.	45% mín.
Sales solubles	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	-	15% máx.

Nota. Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015)

Una recomendación importante, para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigida de las Especificaciones técnicas generales para construcción del Manual de carreteras del MTC, se debe trabajar con una curva granulométrica uniforme y que se encuentre dentro de los límites de la gradación a la que pertenece.

2.2.3. Ensayos de laboratorio

2.2.3.1. Análisis granulométrico

La composición granulométrica de un suelo grueso permite conocer el impacto potencial que puede tener sobre la densidad del material compactado (Crespo, 2008).

El análisis granulométrico, según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) tiene como objetivo conocer la proporción de sus diversos elementos constituyentes, categorizados de acuerdo al tamaño de sus partículas. Según el tamaño de partícula, el suelo se clasifica en la siguiente tabla.

Tabla 9.

Tamaño de partículas

Tipo de material		Tamaño de partículas
Grava		75mm - 4.75mm
Arena		Arena gruesa: 4.75mm – 2.00mm
		Arena media: 2.00mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425mm – 0.075mm
Material fino	Limo	0.075mm – 0.005mm
	Arcilla	Menor a 0.005mm

Nota. Fuente, (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014)

2.2.3.2. Límites de Atterberg

Es una prueba que consiste en definir los límites adecuados para los tres estados en los que puede existir el suelo: líquido, plástico y sólido. Estos estados se denominan límite de Atterberg, y dentro de ellos se realizará un proceso de diferenciación entre el estado líquido y el estado plástico para evaluar la plasticidad de un determinado tipo de suelo (Zans, 1975).

- **Límite líquido**

Se describe como la cantidad de humedad en el suelo que hace que pase de un estado líquido a plástico, expresado como un porcentaje del peso seco de la muestra. En el límite líquido, que es de 25 g/cm² de acuerdo con la definición de Atterberg, los suelos plásticos exhiben una resistencia al esfuerzo cortante muy leve pero bien definida. Un suelo prácticamente no tiene cohesión en el límite líquido (Crespo, 2008).

- **Límite plástico**

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico (Crespo, 2008).

Según el (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014), menciona que además de obtener el LP (límite plástico) y el LL (límite líquido), un valor característico que se obtiene es el Índice de Plasticidad (IP) que es equivalente a la diferencia entre el LL y el LP.

$$IP = LL - LP$$

El índice de plasticidad muestra el rango de humedad donde el suelo tiene consistencia plástica y se puede categorizar. Un suelo extremadamente arcilloso corresponde a un índice de plasticidad más alta, y un suelo ligeramente arcilloso a un índice de plasticidad más baja.

El suelo se clasifica en la siguiente tabla utilizando el índice de plasticidad.

Tabla 10.

Suelo según índice de plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
IP>20	Alta	Suelos muy arcillosos
7<IP≤20	Media	Suelos arcillosos
IP<7	Baja	Suelos poco arcillosos
IP=0	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Nota. Fuente, (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014)

2.2.3.3. Proctor modificado

Se utiliza una prueba conocida como Proctor modificado para identificar el contenido de agua ideal en el suelo que permite la mejor compactación para una cantidad dada de energía (Zans, 1975).

La prueba Proctor modificada permite ver la compactación ideal del suelo a través del volumen de peso contenido en un molde y determinar la humedad requerida con el grado de humedad. Esto se conoce como densidad relativa en volumen bajo una humedad específica, y para ellos se utiliza un proceso que incluye una variedad de golpes que varían en 5 capas y están relacionados con las herramientas utilizadas para obtener la densidad (Carrasco, 2017).

2.2.3.4. Ensayo CBR en laboratorio

El CBR es un ensayo cuyo objetivo es determinar la capacidad de un suelo para soportar las cargas móviles que deben atravesarlo en una determinada estructura vial cuando se somete a cargas de ruedas (Valero, 1978).

La sección de suelos y pavimentación del Manual de Carreteras establece que después de clasificar el suelo utilizando los sistemas AASHTO y SUCS, cada sector homogéneo debe tener un perfil estratigráfico elaborado, y el programa de prueba

para el valor se determinará a partir de este perfil (CBR) con una penetración de carga de 2 punto 54 mm (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014).

Además, enumera los factores que se deben tener en cuenta para determinar el valor CBR de diseño de la subrasante:

- Para sectores con 6 valores o más de CBR, se determinará el valor CBR de diseño de la subrasante promedio del total de los valores obtenidos por sector de características homogéneas (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014).
- En caso de tener menos de 6 valores de CBR, se debe considerar los siguientes criterios:
 - Si los valores son similares, considerar un valor promedio.
 - Si los valores no son similares, considerar el valor crítico (CBR más bajo) o subdividir la sección con la finalidad de agrupar subsectores con valores de CBR similares y definir el promedio; sin olvidar que la longitud de los subsectores debe ser mayor a 100m.

En la siguiente tabla, se puede observar las categorías de subrasante según el CBR.

Tabla 11.

CBR, según categoría de subrasante

Categoría de subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	$CBR < 3\%$
S1: Subrasante insuficiente	$3\% \leq CBR < 6\%$
S2: Subrasante regular	$6\% \leq CBR < 10\%$
S3: Subrasante buena	$10\% \leq CBR < 20\%$
S4: Subrasante muy buena	$20\% \leq CBR < 30\%$
S5: Subrasante excelente	$CBR \geq 30\%$

Nota. Fuente, (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014)

2.3. Definición de términos básicos

a. Base granular

Actividad que consiste en la construcción de una o más capas de material granular que se puede obtener de forma natural o procesada con o sin la inclusión de un agente estabilizador o ligante, debidamente aprobado que se colocará sobre una sub base, sub rasante o afirmado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015).

b. Compactación

La Real Academia Española (2005) describe la acción y el efecto de compactación como indicativos de un cuerpo compacto de textura apretada y ligeramente porosa.

De la misma manera que se utiliza suelo en una muestra cilíndrica para realizar el ensayo Proctor o CBR.

c. CBR

California Bearing Ratio, o CBR, en resumen, es una prueba que evalúa la capacidad de carga del suelo de la subrasante. Para que la prueba se considere válida, los valores porcentuales de la subrasante deben ser mayores o iguales al 6% y deben permanecer constantes en todo el tramo de la carretera propuesta. El valor del CBR debe ser mayor o igual al 40% en el caso de la sub-base (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014).

d. Estabilización

La manipulación mecánica y la incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos para mejorar las propiedades físicas del suelo. El proceso de estabilización de suelos consiste en añadir tierra adicional o incorporar uno o más agentes estabilizadores antes de cualquier tipo de mecanismo con el fin de dotar al suelo de

resistencia mecánica y permanencia de esa propiedad en el tiempo. Después de este proceso de estabilización debe venir un proceso de compactación que asegure la funcionalidad de la subrasante (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

e. Granulometría

La medición de granos de suelo, rocas y otros componentes geológicos es parte de la petrografía establece el tamaño de las piedras, granos, arena, etc., que en su conjunto forman un árido o polvo (RAE - Real Academia Española, 2005).

f. Suelo

Árido no cementado formado por materia orgánica descompuesta y granos minerales, así como por los líquidos y gases que llenan los espacios dejados por las partículas sólidas utilizado como material de construcción en una variedad de proyectos de ingeniería civil (Braja, 2012).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El lodo residual influye en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.

2.4.2. Hipótesis específicas

1. El lodo residual influye en la granulometría de la base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.
2. El lodo residual influye en la capacidad de la base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.
3. El lodo residual influye en los agregados gruesos de la base granular de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.

4. El lodo residual influye en los agregados finos de la base granular de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual

Variable 1: Lodo residual

El tratamiento de aguas residuales, que depende del tipo de planta de tratamiento y operación, da como resultado lodos residuales. Cabe señalar que los lodos se producen en las etapas de tratamiento primario y secundario de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (Limón, 2013).

Variable 2: Base granular

Actividad que consta de la construcción de una o más capas granulares, obtenidas de forma natural o procesadas y aprobadas, con o sin la inclusión de un estabilizador o ligante; debidamente aprobado que se colocará sobre una sub base, subrasante o afirmado. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015).

En la siguiente tabla, se muestra la operacionalización de variables.

Tabla 12.

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO
Variable independiente: Lodo residual	Los lodos residuales son producto del tratamiento de aguas residuales, que depende del tipo de planta de tratamiento y operación. Se debe mencionar que en una planta de aguas residuales domésticas los lodos se generan en las etapas de tratamiento primario y secundario (Limón, 2013).	El lodo residual será evaluado en proporciones, se ve por conveniente el uso de tratamientos y en porcentajes de 0% (modelo), 7.5%, 8.0% y 8.5%.	Dosificación de lodo	Proporción de lodo residual	%; gr	Razón	Balanza de precisión 0.01 gr, ficha de registro de datos
Variable dependiente: Base granular	Actividad que consta de la construcción de una o más capas granulares, obtenidas de forma natural o procesadas y aprobadas, con o sin la inclusión de un estabilizador o ligante; debidamente aprobado que se colocará sobre una sub base, subrasante o afirmado. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015).	La base granular se evaluará mediante los ensayos respectivos de Granulometría, Capacidad de soporte, agregados gruesos y finos. Estos definidos por el manual del MTC.	Granulometría	Análisis granulométrico	%	Razón	MTC E 107- 2016
			Capacidad de soporte	Ensayo CBR en laboratorio	%	Razón	MTC E 132 – 2016
			Agregados gruesos	Sales solubles	%	Razón	MTC E 219 – 2016
				Caras fracturadas	%	Razón	MTC E 210 – 2016
				Abrasión Los Ángeles	%	Razón	MTC E 207 – 2016
				Partículas chatas y alargadas	%	Razón	MTC E 223 – 2016
			Agregados finos	Plasticidad	%	Razón	MTC E 110 – 2000/ MTC E 111-2016
				Equivalente de arena	%	Razón	MTC E 114 – 2016
				Sales solubles	%	Razón	MTC E 219 – 2016

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

SINACYT (2015) donde menciona que el método de la investigación es científico, ya que es “un estudio original y planificado que tiene como finalidad obtener nuevos conocimientos científicos y tecnológicos”.

De esta forma, la investigación fue original y planificada debido a que se pretende seguir una secuencia ordenada para lograr el objetivo propuesto. Así como, la obtención de conocimientos referente al uso de lodo residual y la elaboración de base granular.

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, ya que se pone en práctica los conocimientos adquiridos para el beneficio de una determinada población (SINACYT - Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, 2015).

De acuerdo con la definición, el tipo de investigación fue aplicada, porque se busca dar solución a un problema existente aplicando teorías y fundamentos que avalan su proceso; como la elaboración de base granular con lodo residual.

3.3. Nivel de investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el nivel de investigación explicativo “está dirigido a responder por las causas de los efectos y fenómenos físicos o sociales”.

Conforme a lo mencionado, la investigación buscó evaluar la influencia del lodo residual (variable independiente) en la elaboración de base granular (variable dependiente). Además de contar con un grupo control y un grupo experimental.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación fue experimental, debido a que “la esencia de esta concepción de experimento es que requiere la manipulación intencional de una acción, para analizar sus posibles resultados”, es así que la investigación desarrolló la manipulación de lodo residual seco para determinar el efecto en una base granular.

GE: $O_1 \times O_2$

GC: O_3

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Bernal (2010), menciona que “La población es el conjunto de todos los elementos a los cuales se refiere la investigación. Se puede definir también como el conjunto de todas las unidades de muestreo”.

En la presente investigación, la población estuvo conformada por las calles de la provincia de Huancayo, región Junín.

3.5.2. Muestra

Según Castro (2016), la muestra viene a ser un subgrupo estadísticamente representativo perteneciente a la población, es la que será la fuente de recolección de datos por lo que es necesario delimitarla de manera precisa.

Para la investigación, la muestra fue no probabilística y por conveniencia debido a la proximidad y disponibilidad del investigador. Por lo que se encontró delimitada por un tramo de 500 m de la Av. Alameda Universitaria, en la ciudad de Huancayo.

En la tabla se muestran los grupos de tratamientos, que se desarrollaron en la investigación.

Tabla 13.

Tratamientos de investigación

Nº de Muestra	T0	T1	T2	T3
1	X1	Y1	Z1	W1
2	X2	Y2	Z2	W2
3	X3	Y3	Z3	W3
	\bar{X}	\bar{Y}	\bar{Z}	\bar{W}

T0: Tratamiento control

T1: Material de base granular con 7.5% de lodo residual

T2: Material de base granular con 8% de lodo residual

T3: Material de base granular con 8.5% de lodo residual

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Observación directa

Técnica que permite la recolección de datos a partir de la percepción del investigador; se utiliza con mayor frecuencia cuando el trabajo de campo se realiza en el área de estudio previamente definida y cuando es necesario comparar los resultados obtenidos.

Recolección de datos

Se refiere al proceso de obtención de datos mediante una recopilación de información precedente a la investigación, como las fichas de registro de laboratorio para caracterizar la base granular con lodo.

Trabajo en campo y gabinete

Incluye el procesamiento de datos tanto en la oficina como sobre la marcha en laboratorio, como se describe en las líneas siguientes.

Se inició con el reconocimiento del área de estudio, de la Av. Alameda Universitaria a espaldas de la facultad de ingeniería de la Universidad Peruana Los Andes (UPLA). Se continuó con la recolección de material granular de la cantera Chamiseria y la recolección de lodo de la Planta de aguas residuales de Pazos, Marcavalle, Pucará; para su posterior secado y adición en las proporciones de 7.5%; 8.0% y 8.5% en la elaboración de base granular. Las dosificaciones mencionadas, se aplicaron a los ensayos de compactación y capacidad de soporte (CBR) para base granular.

Las figuras muestran la planta de tratamiento de aguas residuales de Pazos.

Figura 1. Planta de aguas residuales, Pazos



3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para poder procesar los datos recopilados, se utilizó el software Microsoft Excel, en el cual se ordenó la información mediante tablas y gráficos. Por otro lado, para obtener los análisis estadísticos se utilizó el software SPSS; para lograr una representación didáctica de los resultados de la investigación.

3.8. Validación de instrumentos de recolección

Como parte de la validación de la investigación, se tienen los certificados de laboratorio firmados por responsable de laboratorio. Y referente a los instrumentos de recolección de datos desarrollamos la entrevista y observación directa en los ensayos en laboratorio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Lodo residual en la granulometría de la base granular

Para lograr la estabilización de base granular, se requirió de material granular proveniente de una cantera. En este caso, el material granular provino de la cantera Chamiseria, Acopalca. La siguiente tabla, contiene la gradación granulométrica del material en el cual se puede apreciar los porcentajes retenidos, acumulados y que pasaron los tamices empleados para este ensayo.

Tabla 14.

Análisis granulométrico, cantera Chamiseria

Tamiz	Abertura	% Retenido	% Acumulado retenido	% que pasa	Requerimiento p/ base granular - Gradación A
3 in	75.000	0.0	0.0	100.0	100
2 in	50.000	0.0	0.0	100.0	100
1 1/2 in	37.500	7.5	7.5	92.5	100
1 in	25.000	12.7	20.2	79.8	100
3/4 in	19.000	10.9	31.1	68.9	-
3/8 in	9.500	18.5	49.6	50.4	30 a 65
Nro. 4	4.750	15.2	64.8	35.2	25 a 55
Nro. 10	2.000	3.1	67.9	32.1	15 a 40
Nro. 20	0.850	7.9	75.8	24.2	-
Nro. 40	0.425	8.6	84.4	15.6	8 a 20
Nro. 60	0.250	2.8	87.2	12.8	-
Nro. 140	0.106	4.3	91.5	8.5	-
Nro. 200	0.075	2.3	93.8	6.2	2 a 8
Fondo		6.2	100.0	0.0	

De acuerdo con los resultados de la gradación, el material granular se encontró dentro de los requerimientos para la gradación A, donde empleamos esta gradación para altitudes mayores a los 3 000 msnm. Es así que, en la siguiente figura se puede apreciar la curva granulométrica de la cantera Chamiseria.

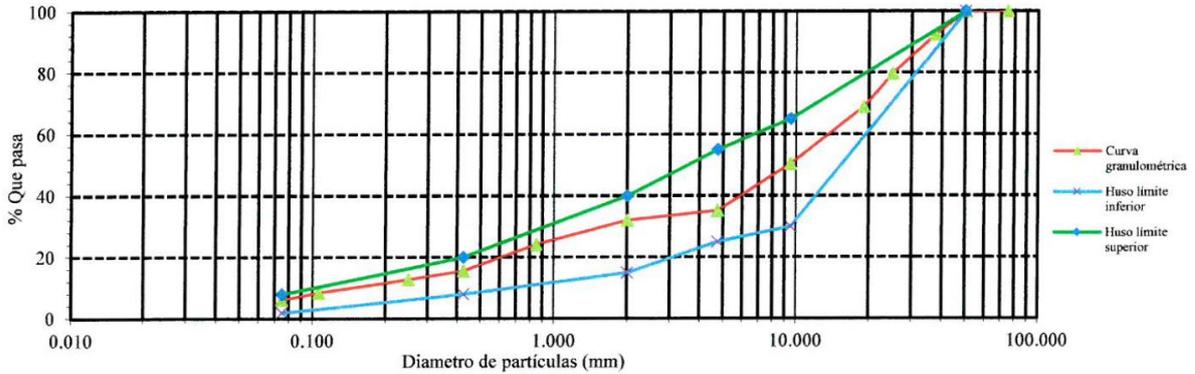


Figura 2. Curva granulométrica, cantera Chamiseria

Con la finalidad de identificar el tipo de material predominante de la cantera, se muestra la siguiente tabla.

Tabla 15.

Fracciones granulométricas, cantera Chamiseria

Fracciones granulométricas	Contenido de humedad
% grava	64.80
% arena	29.00
% finos	6.20

De esta forma, se determinó el tipo de suelos según la clasificación SUCS y AASHTO como: GW – GM grava bien graduada con limo y arena y A-1-a (0) respectivamente.

4.1.2. Lodo residual en la capacidad de la base granular

Antes de iniciar con los resultados referentes a la base granular, se desarrollaron las pruebas de compactación, por medio del ensayo de Proctor modificado. Para el cual se empleó el método C, debido a que el material predominante de la cantera fue la grava.

En la tabla siguiente, se adjuntan los resultados de la prueba de compactación para la cantera y para las combinaciones del material de cantera con 7.5%; 8.0% y 8.5% de lodo residual.

Tabla 16.

Compactación, cantera con tratamientos

Molde	Cantera		Cantera + 7.5%LR		Cantera + 8.0%LR		Cantera + 8.5%LR	
	% cont. Humedad	Densidad seca (gr/cm ³)	% cont. Humedad	Densidad seca (gr/cm ³)	% cont. Humedad	Densidad seca (gr/cm ³)	% cont. Humedad	Densidad seca (gr/cm ³)
1	3.2	1.985	3.1	2.012	2.9	2.025	3.1	2.014
2	5.6	2.097	5.4	2.115	4.8	2.134	5.2	2.128
3	7.8	2.192	7.2	2.209	6.7	2.218	7.3	2.208
4	9.4	2.074	9.1	2.086	8.9	2.097	9.1	2.084
Valor de curva	7.96	2.193	7.4	2.211	6.9	2.220	7.2	2.209

Se adjunta la siguiente figura con los valores de densidad seca máxima descubiertos a partir de la curva de compactación para ilustrar el impacto del lodo residual sobre el material granular.

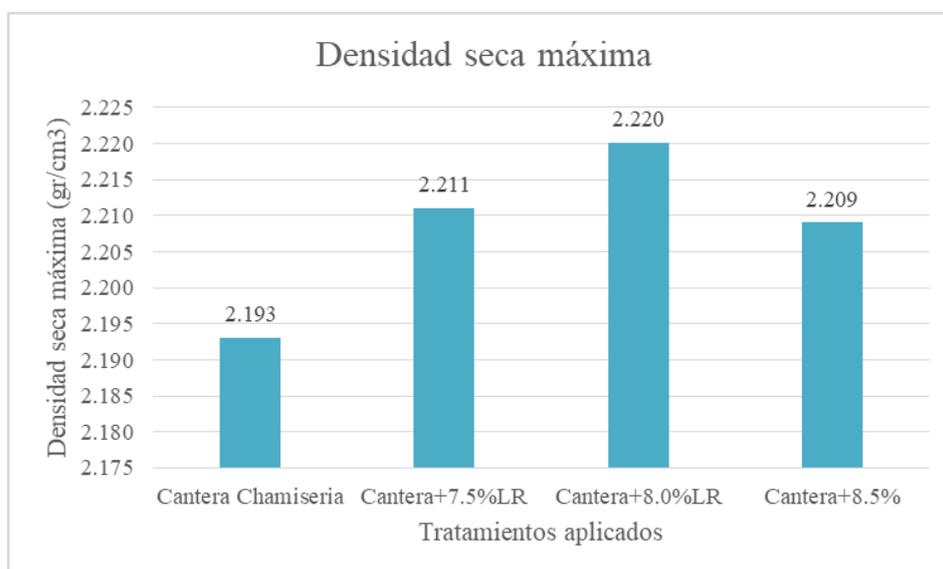


Figura 3. Densidad seca máxima, cantera con tratamientos

De forma secuencial, en la siguiente tabla se adjuntan los resultados de la capacidad de soporte del material de cantera con lodo residual.

Tabla 17.

Capacidad de soporte (CBR), cantera con tratamientos

Molde	Cantera	Cantera+7.5%LR	Cantera+8.0LR	Cantera+8.5%LR
1	70.2	76.5	79.8	79.4
2	56.3	60.7	63.8	61.2
3	42.1	45.8	48.7	45.8
	56.2	61.0	64.1	62.1

De igual forma, en la figura se muestran los valores de CBR para una base granular. Con el propósito de observar el efecto del lodo residual en el material de la cantera Chamiseria.

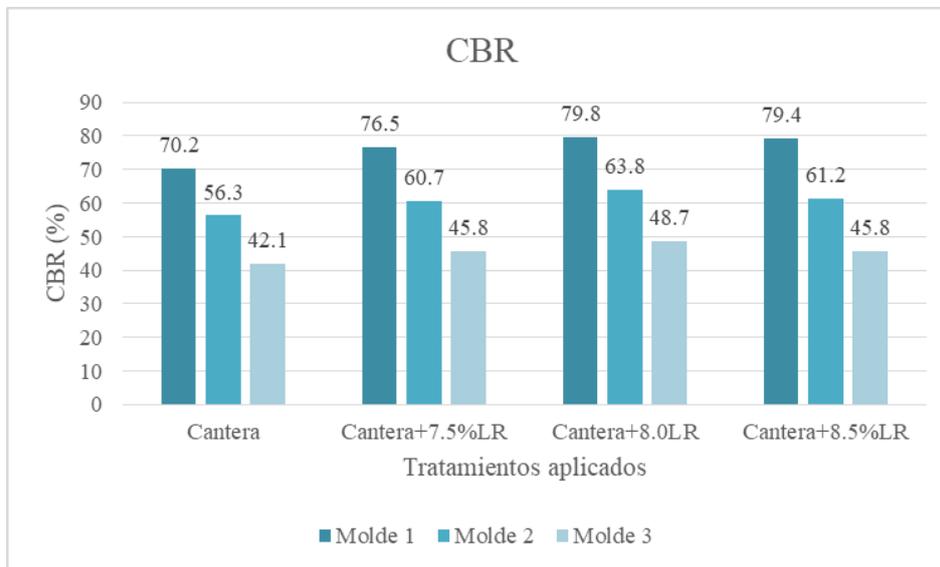


Figura 4. Capacidad de soporte (CBR), cantera con tratamientos

4.1.3. Lodo residual en los agregados gruesos de la base granular

La tabla siguiente muestra los resultados de los ensayos que conforman los requerimientos para el agregado grueso de una base granular.

Tabla 18.

Agregados gruesos para base granular

Ensayo	Resultados	Requerimiento	
		< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	82.90%	80% mín.	80% mín.
Partículas con dos caras fracturadas	72.20%	40% mín.	50% mín.
Partículas chatas y alargadas	3.80%	15% máx.	15% máx.
Sales solubles totales	214.7	0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	1.14%	-	18% máx.

4.1.4. Lodo residual en los agregados finos de la base granular

La siguiente tabla, muestra los resultados de los ensayos que conforman los requerimientos para el agregado fino de una base granular.

Tabla 19.

Agregados finos para base granular

Ensayo	Resultados	Requerimiento	
		< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Índice plástico	NP	4% máx.	2% mín.
Equivalente de arena	74%	35% mín.	45% mín.
Sales solubles	356.8	0.5% máx.	0.5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	4.10%	-	15%

Cabe resaltar, que en el anexo 2 se adjuntan los resultados de los ensayos realizados en laboratorio. Los cuales corresponden a la caracterización de agregados finos y gruesos, así como para la compactación y capacidad de soporte con las proporciones de 0%; 7.5%; 8.0% y 8.5% de lodo residual.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Lodo residual en la capacidad de la base granular

La prueba de hipótesis se realizó utilizando un diseño de bloques completamente al azar para confirmar el impacto del lodo residual en la base granular. Los datos de los

valores de CBR se ingresaron en el programa SPSS. Las siguientes teorías necesitaban ser verificadas.

$$H_0: u_1 = u_2 = u_3$$

$$H_a: u_1 \neq u_2 \neq u_3$$

En la siguiente tabla, se muestra el análisis de varianza. Donde se puede apreciar el valor de F calculado para los tratamientos y moldes aplicados.

Tabla 20.

Análisis de varianza, diseño de bloques completamente al azar – CBR

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: CBR

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2008,864 ^a	5	401,773	286,129	,000
Intersección	44444,841	1	44444,841	31652,112	,000
Tratamiento	101,563	3	33,854	24,110	,001
Molde	1907,302	2	953,651	679,158	,000
Error	8,425	6	1,404		
Total	46462,130	12			
Total corregido	2017,289	11			

a. R al cuadrado = ,996 (R al cuadrado ajustada = ,992)

De acuerdo a la tabla de análisis de varianza que se obtuvo al 95% de confiabilidad, los valores de F calculado fueron 24.110 y 679.158 para los tratamientos y moldes respectivamente. Los valores de F teórico o según tabla para los tratamientos aplicados y los moldes fueron $F_{0.05}$ tratamientos; 3; 6 = 4.757, $F_{0.05}$ moldes; 2; 6 = 5.140. Por lo cual, se pudo afirmar que los lodos residuales influyeron significativamente en la capacidad de la base granular, debido que los valores de F calculados fueron mayores que los valores de F tabulados. Lo cual conllevó a aceptar la hipótesis alterna de la adición de lodo residual es diferente en los valores de capacidad y se establece que, este influyó significativamente en la capacidad de base granular estabilizada.

Del mismo modo, se realizó la prueba de Tukey para determinar que tratamientos aplicados evidenciaron valores mayores de capacidad de soporte (CBR). En la tabla, se adjunta la prueba de Tukey para tratamientos.

Tabla 21.

Prueba de Tukey, tratamientos – CBR

CBR			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
,00	3	56,2000	
1,00	3		61,0000
3,00	3		62,1333
2,00	3		64,1000
Sig.		1,000	,068

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1,404.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = 0.05.

De la prueba de Tukey realizada, se observó que los tratamientos 1; 2 y 3 fueron similares y presentaron los valores de CBR promedio mayores al tratamiento 0, correspondiente a la cantera de Chamisería sin tratamiento de lodo residual.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Presentación de resultados

5.1.1. Lodo residual en la granulometría de la base granular

En este primer objetivo específico, se determinó la granulometría del material proveniente de la cantera Chamiseria. Del cual se encontró que la gradación granulométrica se encuentra dentro de los límites de la gradación A, la cual corresponde para las alturas mayores a los 3 000 msnm. Resultados que se pudieron apreciar en la figura de la curva granulométrica del material granular de cantera, que se encuentra dentro de los límites inferior y superior para base granular.

Con la finalidad de identificar el tipo de material predominante en la cantera, se realizó el cálculo de fracciones granulométricas que también se adjunta en la tabla, donde se pudo apreciar que el material predominante de la cantera fueron las gravas con un 64.80% de incidencia, seguido de la arena y finos. Conforme a la clasificación de suelos según el método AASHTO, el material encontrado corresponde al tipo A-1-a (0) que se considera como un material compuesto de piedras, gravas y arena; característico del material granular encontrado en la cantera, esto según (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2014).

De igual forma se obtuvo el contenido de humedad natural de los agregados, el cual fue 3.10% característico de materiales granulares con presencia de gravas y arena predominantes.

Por el método SUCS, el agregado se clasificó como GW – GM que corresponde al tipo de gravas bien graduadas con limos y arenas, que también es característico y representa a los agregados encontrados.

De acuerdo con la investigación de Feijó (2016) en el cual fabricaron una subbase granular para vías empleando lodo remanente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Urbanización La Joya para combinarlo con arcilla expansiva del noroeste de la ciudad de Guayaquil. Desarrollaron ensayos de campo y laboratorio como límites de Atterberg, granulometría, compactación de proctor y CBR. En el cual encontraron que la granulometría del material de subbase se encontró dentro de los parámetros establecidos. De esta forma, la gradación granulométrica del material para base granular de la cantera Chamiseria también cumplió con los límites permisibles de la gradación A que las Especificaciones Generales EG – 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones recomienda para altitudes mayores a 3 000 msnm. Así mismo, se recomienda realizar pruebas de granulometría al lodo residual de la Planta de aguas residuales de Pazos para poder evaluar el tamaño de las partículas, así como también pruebas de granulometría del material granular con la combinación de lodo residual previamente secado, con la finalidad de obtener una visión más clara de la distribución de partículas e identificar su cumplimiento con los parámetros de gradación granulométrica.

5.1.2. Lodo residual en la capacidad de la base granular

En este segundo objetivo específico, se determinó la capacidad de soporte (CBR) de la base granular con la adición de lodo residual en las proporciones de 0%; 7.5%; 8.0% y 8.5%.

Para el cual previamente se realizó la prueba de compactación con el ensayo de Proctor modificado, correspondiente al método C debido a la gradación granulométrica del material de cantera. Los resultados obtenidos de la compactación se adjuntaron en la tabla 16, donde se pudo apreciar que al incrementar la proporción de lodo residual seco los valores de densidad seca aumentan su valor y el contenido de humedad se reduce ligeramente. No obstante, el tratamiento 3 de cantera con 8.5% de lodo residual presentó valores de densidad seca mayores al tratamiento 0 y menor a los tratamientos 1 y 2. Por lo que se pudo afirmar que las proporciones óptimas de lodos residual son al 7.5% y 8.0%.

Cabe resaltar que la prueba de compactación se realiza para poder determinar el contenido de humedad óptima o la cantidad de agua necesaria para alcanzar una adecuada compactación; y así poder desarrollar las pruebas de CBR para poder alcanzar el requerimiento para bases granulares. Por lo cual, la humedad óptima para el tratamiento 0 (cantera de Chamiseria) fue 7.96% con una densidad seca de 2.193 gr/cm³, la humedad óptima para el tratamiento 1 (cantera + 7.5% de lodo residual) fue 7.4% y la densidad seca máxima fue 2.211 gr/cm³, para el tratamiento 2 (cantera + 8.0% de lodo residual) la humedad óptima fue 6.9% y la densidad seca fue 2.220 gr/cm³, por último el tratamiento 3 (cantera + 8.5%) presentó una humedad óptima de 7.2% con un densidad seca máxima de 2.209 gr/cm³.

En cuanto a los resultados de valor de soporte, también conocido como CBR se organizaron los resultados de acuerdo a los tratamientos aplicados. Es así que para el tratamiento 0 el promedio del valor CBR fue 56.2%, para el tratamiento 1 el valor

promedio de CBR fue 61.0%, para el tratamiento 2 el valor promedio de CBR fue 64.1% y para el tratamiento 3 el valor promedio de CBR fue 62.1%. De igual modo, en la figura 4 se puede apreciar los valores CBR para los tratamientos aplicados, donde dichos valores de CBR se incrementan cuando la dosificación de lodo residual seco aumenta.

Con la finalidad de determinar la influencia del lodo residual en la base granular, se realizó la prueba de hipótesis por medio del diseño de bloques completamente al azar, para el cual se empleó el programa SPSS. De la prueba de hipótesis se obtuvo el análisis de varianza. Donde los valores de F calculados para los tratamientos y moldes aplicados en la investigación fueron mayores a los valores de F tabulados, por lo que se pudo determinar la diferencia significativa de los tratamientos y moldes aplicados, así como la influencia significativa del lodo residual en la elaboración de una base granular. Así mismo, se realizó la prueba de Tukey para determinar que tratamientos evidenciaron mayores valores promedio de CBR, del cual se obtuvo que los tratamientos 1; 2 y 3 son similares y presentaron los valores de CBR promedio para base granular más altos, a diferencia del tratamiento 0 (cantera Chamiseria) que evidenció un valor promedio de CBR menor a los otros tratamientos. Resultados estadísticos que permitieron demostrar que, la inclusión de lodo residual en las proporciones de 7.5%; 8.0% y 8.5% se incrementaron e influyeron significativamente en el valor de CBR para la elaboración de bases granulares.

No obstante, se debe resaltar que el valor de CBR para la elaboración de bases granulares tiene que ser mayor e igual a 80% para un tráfico menor a 1 millón de ejes (<10⁶) equivalentes, según las EG – 2013 del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015) del Perú. Por lo que la investigación no quedó desestimada, más bien genera un aporte a la investigación ya que para incrementar el valor de CBR para una base granular se requiere de otro aditivo que puede ser artificial o

natural para mejorar las propiedades mecánicas de un material granular. Ya que la adición de lodo residual seco permitió el incremento de los valores de CBR del agregado de la cantera Chamiseria para elaborar una base granular.

El estudio de Buendía (2022) en el que busca determinar la manera en la que la aplicación de asfalto espumado mejora el material de base granular. Para el cual se realizaron ensayos como análisis granulométrico, índice de plasticidad, CBR, entre otros que tienen que cumplir con una serie de requerimientos para base granular. Del que se encontró que el valor de CBR fue 79.40% para el material de la cantera de Pumpunya, y que tras la adición de asfalto espumado PEN 85/100 se alcanzaron valores de 92.80%; 123.90% y 111.30%, y con el PEN 120/150 los valores de CBR fueron 96.50%; 118.20% y 110.80%, cuyos valores superaron el límite permisible de CBR para bases granulares. De acuerdo con este antecedente, se puede decir que el asfalto espumado mejora considerablemente las propiedades mecánicas del material granular para base, por lo que se puede emplear como aditivo en la combinación de material granular proveniente de la cantera Chamiseria con lodo residual seco y asfalto espumado.

Por otro lado, también se tiene el estudio de Feijó (2016) en el cual fabricaron una subbase granular para vías empleando lodo remanente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Urbanización La Joya para combinarlo con arcilla expansiva del noroeste de la ciudad de Guayaquil. Desarrollaron ensayos de campo y laboratorio como límites de Atterberg, granulometría, compactación de Proctor y CBR. En el cual encontraron que el valor de CBR para subbase granular fue 20% menor al 30% de lo establecido por el Ministerio de Transportes de Ecuador y que se puede emplear el material de subbase ya que reduce el impacto ambiental de la reutilización de lodo residual que se almacenan en grandes volúmenes y su tiempo de decantación y limpieza es largo debido a la acumulación de materiales orgánicos e inorgánicos peligrosos.

5.1.3. Lodo residual en los agregados gruesos de la base granular

Para este tercer objetivo específico de los agregados gruesos para una base granular, se realizaron las pruebas requeridas según las EG – 2013 del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015). Los ensayos realizados fueron partículas con una cara fracturada, con dos caras fracturadas, partículas chatas y alargadas, sales solubles totales y durabilidad al sulfato de magnesio. De acuerdo con los requerimientos, el resultado de partículas con una cara fracturada el resultado fue de 82.90% de presencia de estas partículas que cumplieron con el requisito para altitudes mayores a los 3 000 msnm. La presencia de partículas con dos caras fracturadas fue de 72.20% que también cumplió con el requerimiento de altitud de ser mayor al 50%. El porcentaje de partículas chatas y alargadas fue de 3.80% que también cumplió con el requerimiento de altitud de ser menor al 15%. La durabilidad al sulfato de magnesio fue de 1.14% que también cumplió con el requerimiento de altitud de ser menor al 18%. La concentración de sales solubles totales fue 214.7 mg/Kg que supera el límite permisible de altitud de ser menor a 0.5%.

El estudio de Echevarry (2021) fue una revisión sistemática sobre el conocimiento de lodos residuales de PTAR aplicado a bases y subbases granulares para vías terciarias en el país de Colombia. En el cual encontraron que en Brasil se usó lodo residual para base y subbase granular, en Ecuador se empleó lodo residual de PTAR para subbase granular, en Polonia emplearon lodo residual para la producción de agregados y su mejoramiento para la construcción de carreteras. Por lo cual se afirmó que el uso de lodos residuales en subbase y base granular de pavimentos presenta buenos resultados de acuerdo a la normativa de cada país, además de considerarse como un reemplazo parcial para la conformación de bases y subbases granulares y ser viables desde el punto de vista ingenieril. De acuerdo con este estudio y los casos encontrados en Latinoamérica como

Polonia, demostraron la efectividad de la aplicación de lodo residual de PTAR en elementos estructurales como bases y subbases granulares de pavimentos. Además de que su uso dependió de las dosificaciones y los parámetros de las normativas nacionales. De la misma manera, se puede afirmar que los agregados para bases y subbases granulares deben cumplir con los parámetros de sitio y la normativa nacional, que para este caso el agregado grueso cumplió con los requerimientos.

5.1.4. Lodo residual en los agregados finos de la base granular

Para el cuarto objetivo específico, referente a los requerimientos de agregado fino para una base granular también se realizaron las pruebas de requeridas por la EG – 2013 del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015). Los ensayos realizados fueron índice plástico, equivalente de arena, sales solubles y durabilidad al sulfato de magnesio. El índice de plasticidad del material de cantera Chamiseria fue no plástico debido a la presencia de gravas y arenas en la gradación granulométrica, por lo que este valor no cumplió con el requerimiento para altitud de ser mayor a 2%. El equivalente de arena fue de 74% el cual cumplió con el requerimiento de altitud de ser mayor al 45%, así mismo se debe destacar que el equivalente de arena permite caracterizar los áridos para la construcción de carreteras por lo que un valor alto de equivalente de arena señala que existe mejor calidad del material. La proporción de durabilidad al sulfato de magnesio fue de 4.10% que también cumplió con el requerimiento de altitud de ser menor al 15%. No obstante, el valor de sales solubles fue 356.8 que supera el límite permisible de ser menor a 0.5% para altitudes mayores a 3 000 msnm.

El estudio de Mendoza (2022) en el cual evaluó las propiedades físico – mecánicas del adicionando residuos de construcción y demolición en la base granular. Para el cual se realizaron ensayos estandarizados de mecánica de suelos como límites de Atterberg, equivalente de arena, análisis granulométrico por tamizado, Proctor modificado,

partículas chatas y alargadas, CBR, abrasión Los Ángeles y sales solubles. Donde se encontró que el uso de RCD (residuos de construcción) es viable como material granular para bases de pavimento flexibles. Conforme a este antecedente, se pudieron respaldar los resultados obtenidos de los ensayos realizados al agregado fino, ya que estos permitieron determinar el cumplimiento de las características del agregado fino para base granular por medio de las pruebas como equivalente de arena y durabilidad al sulfato de magnesio. Así mismo, se debe recomendar que los agregados finos para base granular deben cumplir con los parámetros establecidos por la norma nacional que es regida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el Perú.

CONCLUSIONES

1. La conclusión general del estudio, permite afirmar la influencia significativa del lodo residual de la Planta de aguas residuales de Pazos, Marcavalle, Pucará en la elaboración de bases granuladas. Ya que los valores de CBR para bases granulares se incrementaron conforme se aumentó la dosificación de lodo residual seco en las muestras de base granular.
2. Referente al primer objetivo específico, se concluye que la gradación granulométrica del material de la cantera Chamiseria cumple con los parámetros de la gradación A, para altitudes mayores a los 3 000 msnm. Cuyo material predominante son las gravas, con una clasificación A-1-a (0) y GW – GM correspondiente a la clasificación AASHTO y SUCS respectivamente.
3. Referente al segundo objetivo específico, se concluye que la adición de lodo residual influye significativamente en la elaboración de base granular, ya que los valores de CBR con las proporciones de lodo residual seco de 0%; 7.5%; 8.0% y 8.5% fueron en promedio 56.2%; 61.0%; 64.1% y 62.1%. Además de quedar demostrado estadísticamente la influencia del lodo residual y que los tratamientos de 7.5%; 8.0% y 8.5% de lodo incrementan el valor de CBR para base granular.
4. Referente al tercer objetivo específico, se concluye que los agregados gruesos para base granular cumple con los parámetros de partículas con una y dos caras fracturadas, partículas chatas y alargadas, sales solubles y durabilidad al sulfato de magnesio; de acuerdo a la altitud de más de 3 000 msnm.
5. Referente al cuarto objetivo específico, se concluye que la sección de agregados finos de la cantera Chamiseria cumple con dos de los parámetros de altitud mayor correspondiente a los 3 000 msnm, los cuales fueron: equivalente de arena y durabilidad al sulfato de magnesio.

RECOMENDACIONES

1. Como recomendación general, se hace mención de la elaboración de muestras de material granular de la cantera Chamiseria con la combinación de lodo residual seco en las proporciones de 7.5%; 8.0% y 8.5%, para poder realizar los ensayos de granulometría y los ensayos de requerimientos para la sección de agregados finos y gruesos, con la finalidad de evaluar la incidencia del lodo residual seco en las propiedades físico - mecánicas de bases granulares. Así mismo, se recomienda la inclusión de un aditivo para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de una base granular.
2. Referente al primer objetivo específico, se recomienda realizar pruebas de granulometría al lodo residual de la Planta de aguas residuales de Pazos para poder evaluar el tamaño de las partículas, así como también pruebas de granulometría del material granular con la combinación de lodo residual, para poder obtener una visión clara de la distribución de partículas y verificar su cumplimiento con los parámetros de gradación granulométrica.
3. Referente al segundo objetivo específico, se recomienda la adición de un aditivo artificial o natural para mejorar las propiedades mecánicas del material de la cantera Chamiseria para elaborar una base granular. Ya que con la adición de lodo se incrementaron los valores de CBR, pero no se alcanzó el mínimo valor de 80% para bases granulares que se pretendan construir para carreteras con tránsito menor al millón de ejes equivalentes. El material recomendado sería el asfalto espumado PEN 85/100.
4. Referente al tercer objetivo específico, se recomienda realizar las pruebas de sales solubles y durabilidad al sulfato de magnesio al material de cantera combinado con una proporción de lodo residual. Con la finalidad de poder evaluar el efecto

del lodo residual en los requerimientos de agregados gruesos para bases granulares.

5. Referente al cuarto objetivo específico de agregados finos de material de cantera, se recomienda buscar en la medida de lo posible hacer encajar los valores de los ensayos requeridos para agregados finos de una base granular; ya que estos cumplen un papel importante en la estructura del pavimento al llenar los vacíos y estabilizar la capa base que es sobre la cual se colocará la carpeta asfáltica o losa de concreto hidráulico. Del mismo modo, se recomienda realizar las pruebas de cumplimiento de requerimientos para agregado fino con la combinación de lodo residual, para verificar su efecto en los agregados finos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, W. 2020.** *Pautas para confeccionar la metodología de investigación científica.* Piura, Perú : Universidad Nacional de Tumbes, 2020.
- Aragón, C. 2009.** *Optimización del proceso de lodos activos para reducir la generación de fangos residuales.* s.l. : Universidad de Cadiz, 2009.
- Bernal, C. 2010.** *Metodología de la investigación.* Bogotá, Colombia : Pearson Educación, 2010.
- Braja, D. 2012.** *Mejoramiento del suelo y modificaciones del terreno. Fundamentos de ingeniería de cimentaciones.* México : CENGAGE Learning, 2012.
- Buendía, D. 2022.** *Mejoramiento de base granular mediante la aplicación de asfalto espumado.* Huancayo : Universidad Peruana Los Andes, 2022.
- Cabanilla del Pino, Luis Alfredo. 2017.** *Evaluación ambiental de los impactos que se generarían por la recolección, transporte y disposición de lodos residuales generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en caso de utilizarse como agregado para materiales de construcción.* Guayaquil : s.n., 2017.
- Carrasco, D. 2017.** *Estabilización de los suelos arcillosos adicionando cenizas de caña de azúcar en el tramo de Moro a Virahuanca en el Distrito de Moro – Provincia del Santa.* Chimbote, Perú : s.n., 2017.
- Carrión, J y Carpio, J. 2019.** *Reutilización de las aguas residuales para la estabilización del material para base granular obtenidos de la cantera Miculla - Tacna,* 2018. Tacna, Perú : Universidad Privada de Tacna, 2019.
- Castro, E. 2016.** *Teoría y práctica de la investigación científica.* Huancayo, Perú : PERUGRAPH SRL, 2016.
- Crespo, C. 2008.** *Granulometría. Mecánica de suelos y cimentaciones.* México : LIMUSA S.A., 2008.

- . **2008.** Plasticidad de los suelos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México : LIMUSA S.A., 2008.
- Díaz, M. 2016.** *Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero*. Guayaquil, Ecuador : Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2016.
- Echeverry, C. 2021.** *Estado del conocimiento de lodos residuales de PTAR aplicado en bases y subbases granulares para vías terciarias: casos de estudio y su posible aplicación en Colombia*. Bogotá : Universidad Militar Nueva Granada, 2021.
- Eliminación de bacterias patógenas en lodos residuales durante el secado solar.* **Cota, A y Ponce, C. 2008.** 4, s.l. : Revista internacional de contaminación ambiental, 2008, Vol. 24.
- Estabilización de suelos y materiales granulares en caminos de bajo volúmen de tránsito, empleando productos no tradicionales.* **Ulate, A. 2017.** 2, San José, Costa Rica : PITRA - Lanamme UCR, 2017, Vol. 8.
- Feijó, A. 2016.** *Fabricación de sub-base para vías utilizando lodos remanentes de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Guayaquil, Ecuador : Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2016.
- González, I. 2015.** *Generación, caracterización y tratamiento de lodos EDAR*. Córdoba, España : Universidad de Córdoba, 2015.
- Hernández, O. 2011.** *Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas en agrosistemas de la provincia de Melipilla, Región Metropolitana*. Santiago de Chile, Chile : Universidad de Chile, 2011.
- Hernández, R, Fernández, C y Baptista, P. 2014.** *Metodología de la investigación*. México : McGraw-Hill, 2014. 978-1-4562-2396-0.

Justificación social de la investigación. Aguilar, J. 2005. 2005, Ingenierías, págs. 3-6.

Limón, J. 2013. *Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales ¿problema o recurso?* Guadalajara, México : s.n., 2013.

López Colonia, Alexis Guillermo y Mendoza Ríos, Cecilia Noemi. 2018. *Efecto de las diferentes concentraciones de lodos secos del PTAR – COVICORTI para el mejoramiento de suelos áridos.* Trujillo - Perú : s.n., 2018.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. 2015. Manual de carreteras. *Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013.* Lima, Perú : Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2014. Capítulo III - Componentes de la infraestructura del camino. *Manual de carreteras. Sección suelos y pavimentos.* Lima, Perú : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

Ministerio de Transportes y comunicaciones. 2014. Capítulo IV - Suelos. *Manual de carreteras - Sección suelos y pavimentos.* Lima, Perú : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2014. Capítulo IX - Estabilización de suelos. *Manual de carreteras - Sección suelos y pavimentos.* Lima, Perú : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

Orellana, X. 2015. *Uso de lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos.* Guayaquil, Ecuador : Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2015.

Peccia, J. 2020. *Disposición de los lodos de aguas residuales en los Estados Unidos y el mundo.* [Departamento de Ingeniería - PUCP] Lima, Perú : Red Peruana Ciclo de Vida y Ecología Industrial (PELCAN), 2020.

- Peralta, I y Pérez, W. 2015.** *Uso del suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas.* Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015.
- Pérez Rativa, Ligy Norella y Vásquez Vanegas, Leidy Alejandra. 2020.** *ESTUDIO DE UNA SUB BASE GRANULAR ESTABILIZADA CON GEOESTAB APLICADO A VÍAS TERCARIAS.* Bogotá : s.n., 2020.
- RAE - Real Academia Española. 2005.** *Diccionario de la Lengua Española.* Lima, Perú : QUEBECOR WORLD PERÚ S.A., 2005. ISBN: 9972-58-138-1.
- Ramos, C. 2014.** *Modelo de tratamiento de aguas residuales lodos activados convencional en el Valle del Mantaro.* Huancayo, Perú : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014.
- Reinoso Chicaiza, Mayra Jissela. 2017.** *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS ELABORADOS A BASE DE LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA RED CASIGANA, COMO SUSTITUTO PARCIAL DE LA ARCILLA.* Ambato - Ecuador : s.n., 2017.
- Rubio, J. 1976.** *Secado de lodos de aguas residuales por filtración-evaporación natural.* Madrid, España : Universidad Politécnica de Madrid, 1976.
- SINACYT - Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. 2015.** *Reglamento de calificaciones y registro de investigación en ciencia y tecnología. Reglamento de calificaciones y registro de investigación en ciencia y tecnología.* Lima, Perú : El Peruano, 2015. págs. 567977 - 567980.
- Soto, A. 2019.** *Ladrillos refractario de alúmina a partir de lodos residuales minerales en la Región Junín.* Huancayo, Perú : Universidad Peruana Los Andes, 2019.
- Valero, L. 1978.** *Compactación en carreteras y aeropuertos.* Barcelona, España : Eyrolles, 1978.

Zans, J. 1975. *Mecánica de suelos*. Barcelona, España : Eyrolles, 1975.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia para el proyecto de investigación

TESIS: LODO RESIDUAL EN LA ELABORACIÓN DE BASE GRANULAR EN LA AV. ALAMEDA UNIVERSITARIA, HUANCAYO, JUNÍN, 2022

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema general:</p> <p>¿Cómo influye el lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar la influencia del lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>El lodo residual influye significativamente en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.</p>	<p>V.I.: Lodo residual</p>	<p>D1: Dosificación de lodo</p>	<p>I1: Proporción de lodo residual</p>	<p>Método: Científico Tipo: Aplicada Nivel: Explicativo Diseño: Experimental</p>
<p>Problemas específicos:</p> <p>a. ¿Cómo influye el lodo residual en la granulometría de la base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022?</p> <p>b. ¿Cómo influye el lodo residual en la capacidad de la base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022?</p> <p>c. ¿Cómo influye el lodo residual en los agregados gruesos de la base granular de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022?</p> <p>d. ¿Cómo influye el lodo residual en los agregados finos de la base granular de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>a. Calcular la influencia del lodo residual en la granulometría de la base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.</p> <p>b. Calcular la influencia del lodo residual en la capacidad de la base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.</p> <p>c. Calcular la influencia del lodo residual en los agregados gruesos de la base granular de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.</p> <p>d. Calcular la influencia del lodo residual en los agregados finos de la base granular de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.</p>	<p>Hipótesis específicas:</p> <p>a. El lodo residual influye en la granulometría de la base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.</p> <p>b. El lodo residual influye en la capacidad de la base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.</p> <p>c. El lodo residual influye en los agregados gruesos de la base granular de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.</p> <p>d. El lodo residual influye en los agregados finos de la base granular de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022.</p>	<p>V.D.: Base granular</p>	<p>D1: Granulometría</p> <p>D2: Capacidad de soporte</p> <p>D3: Agregados gruesos</p> <p>D4: Agregados finos</p>	<p>I1: Análisis granulométrico</p> <p>I2: Ensayo CBR en laboratorio</p> <p>I1: Sales solubles</p> <p>I2: Caras fracturadas</p> <p>I3: Abrasión Los Ángeles</p> <p>I4: Partículas chatas y alargadas</p> <p>I1: Plasticidad</p> <p>I2: Equivalente de arena</p> <p>I3: Sales solubles</p>	<p>Población: Conformada por las calles de la provincia de Huancayo, Junín.</p> <p>Muestra: Conformada por un tramo de la Av. Alameda Universitaria, Huancayo.</p> <p>Técnicas e instrumentos: uso de entrevista y observación directa en laboratorio.</p> <p>Técnicas de procesamiento de datos: Análisis de varianza, uso de software SPSS.</p> <p>Los resultados serán procesados con el Ms-Excel.</p>

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO
Variable independiente: Lodo residual	Los lodos residuales son producto del tratamiento de aguas residuales, que depende del tipo de planta de tratamiento y operación. Se debe mencionar que en una planta de aguas residuales domésticas los lodos se generan en las etapas de tratamiento primario y secundario (Limón, 2013).	El lodo residual será evaluado en proporciones, se ve por conveniente el uso de tratamientos y en porcentajes de 0% (modelo), 7.5%, 8.0% y 8.5%.	Dosificación de lodo	Proporción de lodo residual	%; gr	Razón	Balanza de precisión 0.01 gr, ficha de registro de datos
Variable dependiente: Base granular	Actividad que consta de la construcción de una o más capas granulares, obtenidas de forma natural o procesadas y aprobadas, con o sin la inclusión de un estabilizador o ligante; debidamente aprobado que se colocará sobre una sub base, subrasante o afirmado. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2015).	La base granular se evaluará mediante los ensayos respectivos de Granulometría, Capacidad de soporte, agregados gruesos y finos. Estos definidos por el manual del MTC.	Granulometría	Análisis granulométrico	%	Razón	MTC E 107- 2016
			Capacidad de soporte	Ensayo CBR en laboratorio	%	Razón	MTC E 132 – 2016
			Agregados gruesos	Sales solubles	%	Razón	MTC E 219 – 2016
				Caras fracturadas	%	Razón	MTC E 210 – 2016
				Abrasión Los Ángeles	%	Razón	MTC E 207 – 2016
				Partículas chatas y alargadas	%	Razón	MTC E 223 – 2016
			Agregados finos	Plasticidad	%	Razón	MTC E 110 – 2000/ MTC E 111-2016
				Equivalente de arena	%	Razón	MTC E 114 – 2016
				Sales solubles	%	Razón	MTC E 219 – 2016

Anexo 3: Certificados de laboratorio

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO	Código	C3-Suelo-001	
	CERTIFICADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO	Versión	01	
		Fecha	04-01-21	
		Página	1 de 1	

Expediente N° : 1602-2023
 Nombre del testista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaynate
 Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
 Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
 Fecha de emisión : 16-02-23

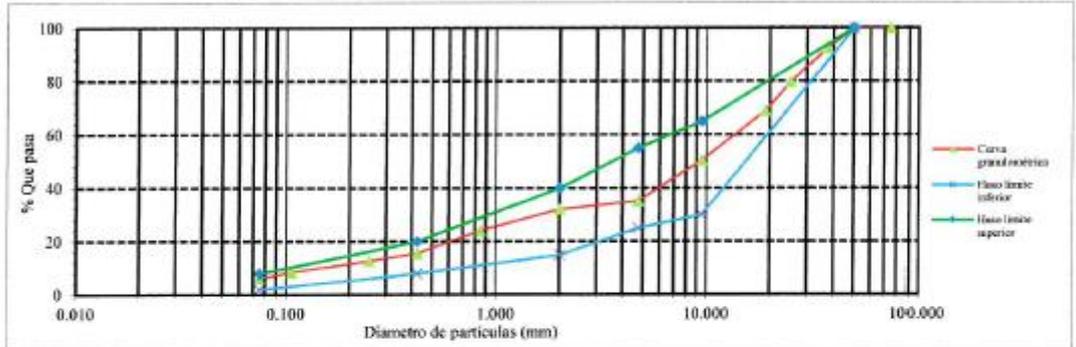
Cantera : Chamisería - Acopalca
 Muestra : M-1
 Profundidad (m) : Superficial

SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico NTP 339.128:1999 (revisada el 2019)					Requerimientos para base granular Graduación "A"
Tamiz	Abertura (mm)	% Retenido	% Acumulado retenido	% Que pasa	
3 in.	75.000	0.0	0.0	100.0	100
2 in.	50.000	0.0	0.0	100.0	100
1½ in.	37.500	7.5	7.5	92.5	100
1 in.	25.000	12.7	20.2	79.8	100
¾ in.	19.000	10.9	31.1	68.9	---
½ in.	9.500	18.5	49.6	50.4	30 a 65
No. 4	4.750	15.2	64.8	35.2	25 a 55
No. 10	2.000	3.1	67.9	32.1	15 a 40
No. 20	0.850	7.9	75.8	24.2	---
No. 40	0.425	8.6	84.4	15.6	8 a 20
No. 60	0.250	2.8	87.2	12.8	---
No. 140	0.106	4.3	91.5	8.5	---
No. 200	0.075	2.3	93.8	6.2	2 a 8
Fondo		6.2	100.0	0.0	

SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelo NTP 339.129:1999 (revisada el 2019)	
Límite Líquido	NP
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	-

Fracciones Granulométricas		% Contenido de humedad	3.1
% Grava	64.8		
% Arena	29.0		
% Finos	6.2		

SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS) NTP 339.134:1999 (revisada el 2019)		SUELOS. Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte NTP 339.135:1999 (revisada el 2019)	
Símbolo	GW-GM	A-1-a (0)	
Nombre	Grava bien graduada con limo y arena		



NOTAS:
 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP-004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar Alex Huamani Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
 Av. Los Próceres N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín
 Celular: 947-898992
 Email: c3ingenieriaespecializadassac@gmail.com

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO	Código	C3-FOR-S-PROC	
	SUELOS, Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m ² (56 000 pie-lb/ft ²))	Versión	01	
	NTP 339.141:1999 (revisada el 2019)	Fecha	04-01-21	
		Página	1 de 2	

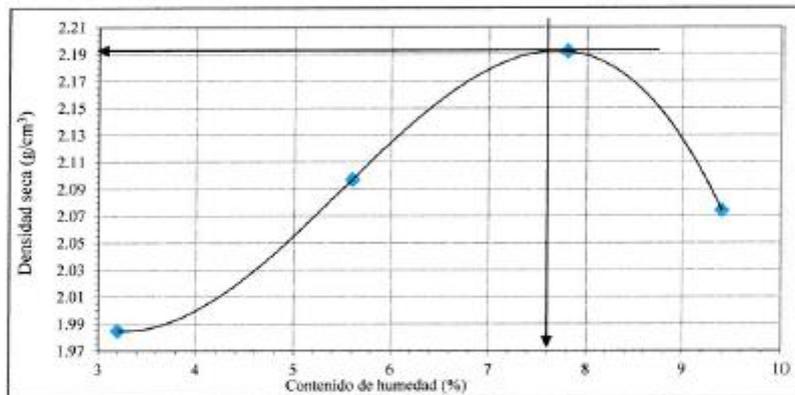
Expediente N° : 1602-2023
Nombre del tesista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaynate
Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 16-02-23

Método de ensayo Tipo "C"

Cantera : Chamisera - Acopalca
Muestra : M-1
Profundidad (m) : Superficial

Máxima densidad seca : 2.193 g/cm³
Óptimo contenido de humedad : 7.6 %

% Contenido de humedad	3.2	5.6	7.8	9.4
Densidad seca (g/cm ³)	1.985	2.097	2.192	2.074



NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP:004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar Alex Huamani Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
Av. Los Próceres N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín
Celular: 947-898992
Email: c3ingenieriaespecializadusa@gmail.com

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO	Código	C3-FOR-S-CBR	
	SUELOS. Método de ensayo normalizado in situ para CBR (California Bearing Ratio - Relación Valor Soporte) de suelos	Versión	01	
	NTP 339.175:2002 (revisada el 2015)	Fecha	04-01-21	
		Página	2 de 2	

Expediente N° : 1602-2023
Nombre del testista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaynate
Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 16-02-23

Datos de la muestra:

Cantera : Chamisería - Acopales
Muestra : M-1
Profundidad (m) : Superficial

a).- Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado NTP 339.141

Máxima densidad seca : 2.193 g/cm³
Óptimo Contenido de Humedad : 7.6 %

b).- Compactación de moldes

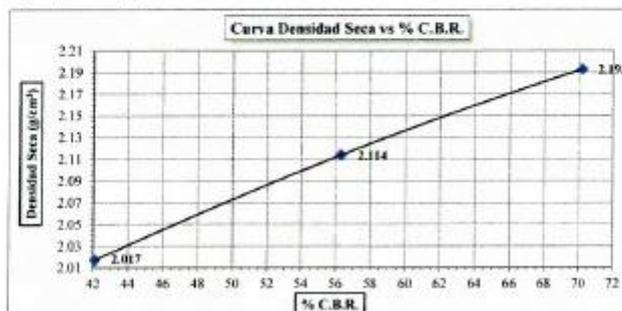
Molde N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Número de golpes/capa	56	25	10
Densidad seca (g/cm ³)	2.193	2.114	2.017
Contenido de Humedad (%)	7.7	7.6	7.5

c).- Cuadro C.B.R. Para 0.10 pulgada de penetración

Molde N°	Penetración (pulg.)	Presión Aplicada (lb/pulg ²)	Presión Patrón (lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.10	702	1000	70.2
II	0.10	563	1000	56.3
III	0.10	421	1000	42.1

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 70.2%
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. : 51.7%

d).- Expansión (%) : No



NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUIA PERUANA INDECOPI- GP-004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar Alex Huamán Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
Av. Los Próceros N° 1000 - Chilea - Huancayo - Junín
Celular: 947-898992
Email: c3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Expediente N° : 1602-2023
 Nombre del testista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaynate
 Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
 Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
 Fecha de emisión : 16-02-23

Porcentaje de caras fracturadas en los agregados
MTC E-210

Cantera : Chamiseria - Accopalca

A.- Con una cara fracturada

Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	C * D
1 1/2 pulg.	1 pulg.	127.8	98.4	77.0	6.9	5.3
1 pulg.	3/4 pulg.	428.9	328.1	76.5	23.1	17.7
3/4 pulg.	1/2 pulg.	574.1	481.7	83.9	31.0	26.0
1/2 pulg.	3/8 pulg.	723.5	628.3	86.8	39.0	33.9
TOTAL		1854.3	1536.5	82.9	100.0	82.9
% Con una cara fracturada					82.9%	

B.- Con dos caras fracturadas

Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	(g)	(g)	((B/A)*100)	(%)	C * D
1 1/2 pulg.	1 pulg.	127.8	71.1	0.0	6.9	0.0
1 pulg.	3/4 pulg.	428.9	256.3	59.8	23.1	13.8
3/4 pulg.	1/2 pulg.	574.1	418.2	72.8	31.0	23.6
1/2 pulg.	3/8 pulg.	723.5	592.7	81.9	39.0	32.0
TOTAL		1854.3	1338.3	72.2	100.0	72.2
% Con dos cara fracturada					72.2%	

- A : Masa de la muestra (g)
 B : Masa material con caras fracturadas (g)
 C : Porcentaje de caras fracturadas (%)
 D : Porcentaje retenido de caras fracturadas (%)
 E : Promedio de caras fracturadas (%)

NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP:004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Expediente N° : 1602-2023
Nombre del tesista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaynate
Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín., 2022
Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 16-02-23

Partículas chatas o alargadas en el agregado grueso
NTP 400.040

Cantera	Chamiseria - Acopalca
Muestra	M-I
% Partículas chatas o alargadas	3.8%

NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- 2) La relación empleada para la determinación es de 1/3 (espesor/longitud)
- 3) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP-004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Humani Salazar



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Expediente N° : 1602-2023
Nombre del testista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaynate
Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 16-02-23

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS
AGREGADO GRUESO

Carrera : Chamisería - Acopalca
Muestra : M-1
Profundidad (m) : Superficial

Parámetro	Unidad	NTP	Resultado	Método
Sales Solubles Totales	mg/kg	339.152	214.7	Gravimétrico

NOTA:

- 1) El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra al laboratorio son responsabilidad del solicitante.
- 2) Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la Autorización del laboratorio.
- 3) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP:004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Humari Salazar



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Expediente N° : 1602-2023
Nombre del testista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaynate
Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 16-02-23

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS
AGREGADO FINO

Cantera : Chamiseria - Acopalca
Muestra : M-1
Profundidad (m) : Superficial

Parámetro	Unidad	NTP	Resultado	Método
Sales Solubles Totales	mg/kg	339.152	356.8	Gravimétrico

NOTA:

- 1) El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento y transporte de la muestra al laboratorio son responsabilidad del solicitante.
- 2) Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente Informe sin la Autorización del laboratorio.
- 3) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvó que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP:004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Expediente N° : 1602-2023
 Nombre del testista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaynate
 Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
 Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
 Fecha de emisión : 16-02-23

Determinación de la Inalterabilidad de agregados por medio de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio
NTP 400.016

I. Exámen Cuantitativo: Agregado Grueso

Cantera : Chamisera - Acopalea

Tamices		Pérdida en Peso
Pasa	Retenido	Porcentaje
3 1/2 pulg.	2 1/2 pulg.	0,00
2 1/2 pulg.	1 1/2 pulg.	0,26
1 1/2 pulg.	3/4 pulg.	0,27
3/4 pulg.	3/8 pulg.	0,43
3/8 pulg.	No. 4	0,18
Total		1,14

II. Exámen Cualitativo

Tamices		Rajadas		Desmoronadas		Fracturadas		Astilladas		N° Inicial Partículas
Pasa	Retenido	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	
2 1/2 pulg.	1 1/2 pulg.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1/2 pulg.	3/4 pulg.	0	0	0	0	0	0	0	0	28
3/4 pulg.	No. 4	0	0	0	0	0	0	0	0	41

Observación:

* El ensayo fue realizado con sulfato de magnesio durante cinco ciclos.

NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP-904: 1993).

Revisado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

Expediente N° : 1602-2023
Nombre del testista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaynate
Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 16-02-23

**Método de prueba estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino
NTP 339.146**

Cantera	Chamiseria - Acopalca
Muestra	M-1
% Equivalente de arena	74

NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPE GP:004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
LABORATORIO DE MÉCANICA DE SUELOS**

Expediente N° : 1602-2023
Nombre del testista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huayrate
Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 16-02-23

**Determinación de la Inalterabilidad de agregados por medio de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio
NTP 400.016**

I. Exámen Cuantitativo: Agregado Fino

Carraera : Chamisería - Acopalka

Tamices		Pérdida en Peso
Pasa	Retenido	Porcentaje
No. 30	No. 50	0.45
No. 16	No. 30	0.56
No. 8	No. 16	1.24
No. 4	No. 8	1.18
3/8 pulg.	No. 4	0.68
Total		4.1%

Observación:

* El ensayo fue realizado con sulfato de magnesio durante cinco ciclos.

NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP-004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



Cantera + 7.5% lodo residual

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO	Código	C3-FOR-S-PROC	
	SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m ² (56 000 pie-lb/pie ²))	Versión	01	
	NTP 339.141:1999 (revisada el 2019)	Fecha	04-01-21	
		Página	1 de 2	

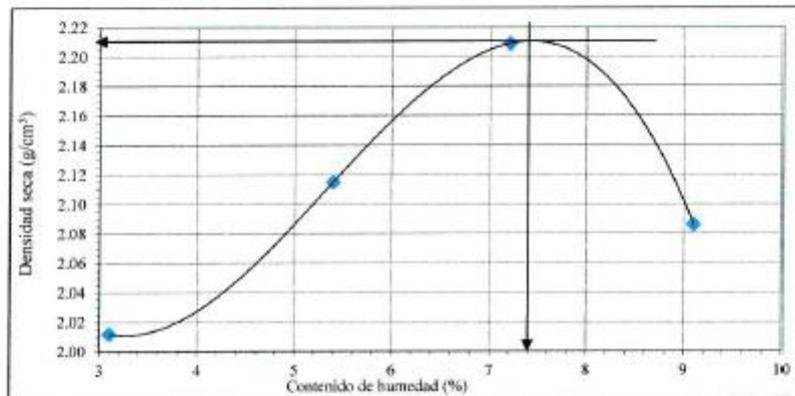
Expediente N° : 1602-2023
 Nombre del tesisista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaynate
 Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
 Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
 Fecha de emisión : 16-02-23

Método de ensayo Tipo "C"

Combinación : Cantera Chamisería - Acopanca + 7.5% Lodo residual (Marcavalle - Pazos - Tayacaja - Huancavelica)
 Muestra : M-1
 Profundidad (m) : Superficial

Máxima densidad seca : 2.211 g/cm³
 Óptimo contenido de humedad : 7,4 %

% Contenido de humedad	3.1	5.4	7.2	9.1
Densidad seca (g/cm ³)	2.012	2.115	2.209	2.086



NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP:004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar Alex Huamani Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
 Av. Los Próceres N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín
 Celular: 947-898992
 Email: c3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO	Código	C3-10R-S-CBR	
	SUELOS, Método de ensayo normalizado in situ para CBR (California Bearing Ratio - Relación Valor Soporte) de suelos	Versión	01	
	NTP 339.175:2002 (revisión el 2015)	Fecha	04-01-21	
		Página	2 de 2	

Expediente N° : 1602-2023
Nombre del testista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Ríveros Huaymate
Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 16-02-23

Datos de la muestra:

Combinación : Cantera Chamisería - Acopalex + 7.5% Lodo residual (Marcavalle - Pazos - Tiyacaja - Huancavelica)
Muestra : M-1
Profundidad (m) : Superficial

a).- Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado NTP 339.141

Máxima densidad seca : 2.211 g/cm³
Óptimo Contenido de Humedad : 7.4 %

b).- Compactación de moldes

Molde N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Número de golpes/capa	56	25	10
Densidad seca (g/cm ³)	2.211	2.125	2.031
Contenido de Humedad (%)	7.5	7.4	7.3

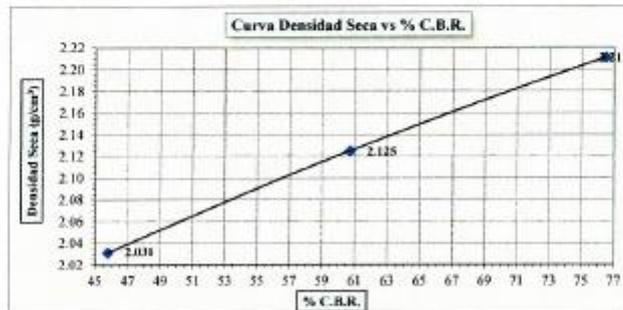
c).- Cuadro C.B.R. Para 0.10 pulgada de penetración

Molde N°	Penetración (pulg.)	Presión Aplicada (lb/pulg ²)	Presión Patrón (lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.10	765	1000	76.5
II	0.10	607	1000	60.7
III	0.10	458	1000	45.8

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 76.5%

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. : 56.9%

d).- Expansión (%) : No



NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUIA PERUANA INDECOPI: GP:004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar Alex Huamani Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
Av. Los Próceres N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín
Celular: 947-898992
Email: c3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

Cantera + 8.0 % lodo residual

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO	Código	C3-FOR-S-PROC	
	SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN·m/m ² (56 000 pie·lib/pie ²))	Versión	01	
	NTP 339.141:1998 (revisada el 2019)	Fecha	04-01-21	
		Página	1 de 2	

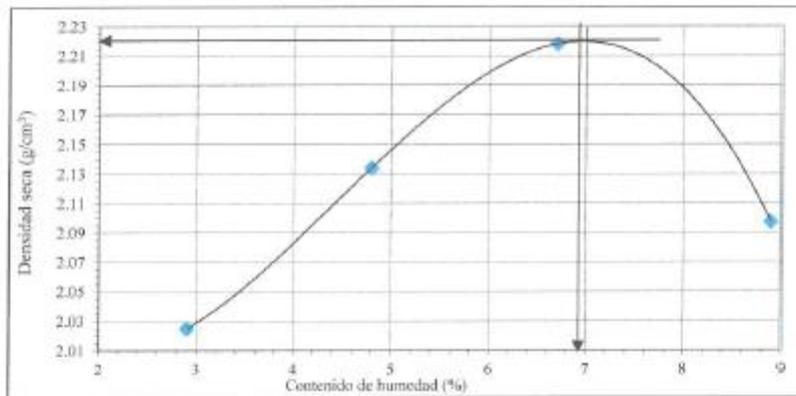
Expediente N° : 1602-2023
 Nombre del testista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaymate
 Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
 Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
 Fecha de emisión : 16-02-23

Método de ensayo Tipo "C"

Combinación : Cantera Chamisería - Acopalca + 8.0% Lodo residual (Marcavalle - Pazos - Tayacaja - Huancavelica)
 Muestra : M-1
 Profundidad (m) : Superficial

Máxima densidad seca : 2.220 g/cm³
 Óptimo contenido de humedad : 6.9 %

% Contenido de humedad	2.9	4.8	6.7	8.9
Densidad seca (g/cm ³)	2.025	2.134	2.218	2.097



NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPE: GP:004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar Alex Humant Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
 Av. Los Próceres N° 1000 - Chulca - Huancayo - Junín
 Celular: 947-808992
 Email: c3ingenieriaespecializad@sac@gmail.com

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO	Código	C3-908-S-CBR	
	SUELOS. Método de ensayo normalizado in situ para CBR (California Bearing Ratio - Relación Valor Soporte) de suelos	Versión	01	
	NTP 339.175:2002 (revisada el 2015)	Fecha	04-01-21	
		Página	2 de 2	

Expediente N° : 1602-2023
Nombre del testista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaymate
Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 16-02-23

Datos de la muestra:

Combinación : Cantera Chamiserín - Acopoca + 8.0% Lodo residual (Marcavalle - Pozos - Tayaqajá - Huancavelica)
Muestra : M-1
Profundidad (m) : Superficial

a).- Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado NTP 339.141

Máxima densidad seca : 2.220 g/cm³
Óptimo Contenido de Humedad : 6.9 %

b).- Compactación de moldes

Molde N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Número de golpes/capa	56	25	10
Densidad seca (g/cm ³)	2.22	2.137	2.042
Contenido de Humedad (%)	7.0	6.9	6.8

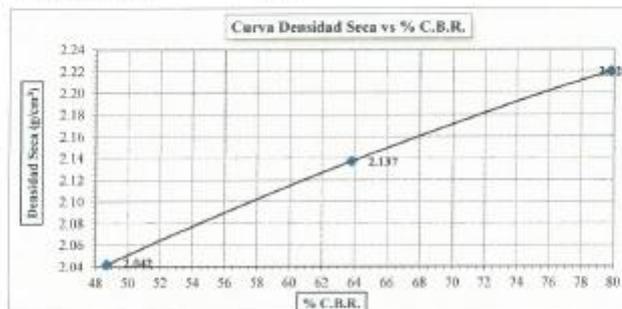
c).- Cuadro C.B.R. Para 0.10 pulgada de penetración

Molde N°	Penetración (pulg.)	Presión Aplicada (lb/pulg ²)	Presión Patrón (lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.10	798	1000	79.8
II	0.10	638	1000	63.8
III	0.10	487	1000	48.7

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 79.8%

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. : 59.4%

d).- Expansión (%) : No



NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP-004: 1993).

Redrado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar Alex Huamani Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
Av. Los Próceros N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín
Celular: 947-808992
Email: c3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

Cantera + 8.5% lodo residual

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO	Código	C3-FOR-S-PROC	
	SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m ² (56 000 pie-lbf/pie ²))	Versión	01	
	NTP 339.141:1999 (revisada el 2019)	Fecha	04-01-21	
		Página	1 de 2	

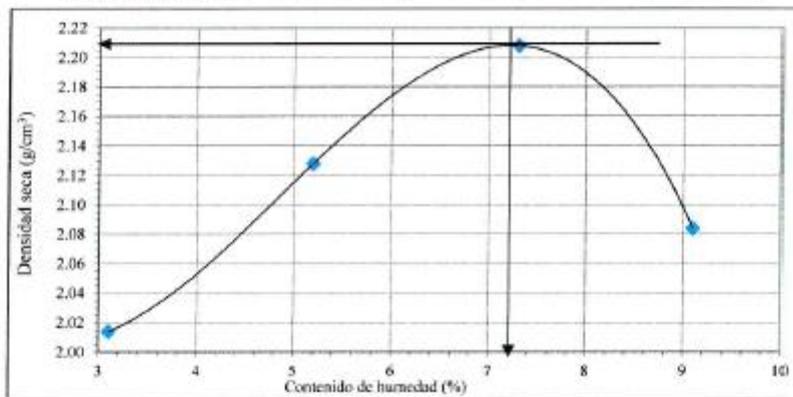
Expediente N° : 1602-2023
 Nombre del tesista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaynate
 Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
 Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
 Fecha de emisión : 16-02-23

Método de ensayo Tipo "C"

Combinación : Cantera Chamisería - Acopalca + 8.5% Lodo residual (Marcavalle - Pazos - Tayacaja - Huancavelica)
 Muestra : M-1
 Profundidad (m) : Superficial

Máxima densidad seca : 2.209 g/cm³
 Óptimo contenido de humedad : 7.2 %

% Contenido de humedad	3.1	5.2	7.3	9.1
Densidad seca (g/cm ³)	2.014	2.128	2.208	2.084



NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
 - 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP:004: 1993).
- Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar Alex Huamant Salazar



	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO	Código	C3-FOR-S-CBR	
	SUELOS. Método de ensayo normalizado in situ para CBR (California Bearing Ratio - Relación Valor Soporte) de suelos	Versión	01	
	NTP 339.175:2002 (revisada el 2015)	Fecha	04-01-21	
		Página	2 de 2	

Expediente N° : 1602-2023
Nombre del sesista : Bach. Ing. Civil Luis Enrique Riveros Huaynate
Nombre de la tesis : Lodo residual en la elaboración de base granular en la Av. Alameda Universitaria, Huancayo, Junín, 2022
Ubicación : Huancayo - Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 16-02-23

Datos de la muestra:

Combinación : Cantera Chamisería - Acopalca + 8.5% Lodo residual (Mareavalle - Pazos - Tayacuja - Huancavello)
Muestra : M-1
Profundidad (m) : Superficial

a).- Ensayo Preliminar de Compactación

Ensayo Proctor Modificado NTP 339.141

Máxima densidad seca : 2.209 g/cm³
Óptimo Contenido de Humedad : 7.2 %

b).- Compactación de moldes

Molde N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
Número de golpes/capa	56	25	10
Densidad seca (g/cm ³)	2.209	2.127	2.014
Contenido de Humedad (%)	7.3	7.2	7.1

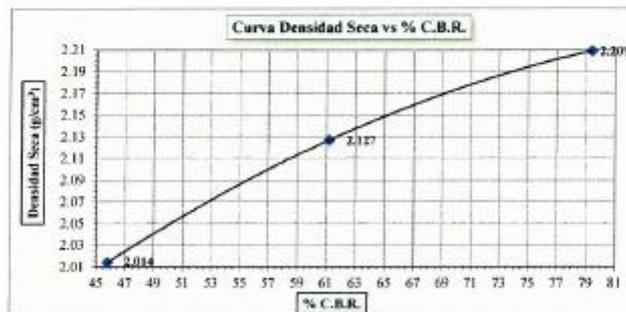
c).- Cuadro C.B.R. Para 0.10 pulgada de penetración

Molde N°	Penetración (pulg.)	Presión Aplicada (lb/pulg ²)	Presión Patrón (lb/pulg ²)	C.B.R. (%)
I	0.10	794	1000	79.4
II	0.10	612	1000	61.2
III	0.10	458	1000	45.8

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. : 79.4%

C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. : 56.8%

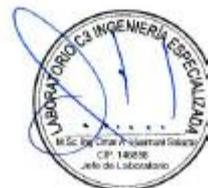
d).- Expansión (%) : No



NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP:004:1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar Ales Huamán Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
Av. Los Próceros N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín
Celular: 947-898992
Email: c3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

PANEL FOTOGRÁFICO

1. **Recolección de lodo residual de la Planta de agua residual de Pazos, Marcavalle, Pucará.**







2. Ensayos de laboratorio

2.1. Cuarteo manual



2.2. Granulometría



2.3. Contenido de humedad



2.4. Límites de Atterberg



2.5. Compactación







2.6. CBR





