PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

TEMA:

"ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES CON RELAVE MINERO GENERADOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO CAMPANILLAS PARA SU USO EN VÍAS"

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTORES:

LOJANO SOZORANGA ESTANISLAO LUIS

PROAÑO NARANJO PAMELA DOMÉNICA

DIRECTOR:

ING. GUSTAVO YÁNEZ

QUITO, MARZO 2022

AGRADECIMEINTO

Primero me gustaría agradecer a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia. Gracias a ellos por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser: gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis.

Finalmente, me gustaría expresar mi profunda gratitud al Ingeniero Gustavo Yanez, director de la tesis y a los Ingenieros Mauricio Cely y Gonzalo Moya, correctores de esta, por su paciente orientación, su entusiasta aliento y sus útiles críticas de este trabajo de titulación. Gracias a todos por creer en nosotros y gracias a Dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi familia quienes por ellos soy lo que soy, por su apoyo, consejos, comprensión, amor, soporte en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. A mis padres quienes me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

Finalmente, me gustaría dedicar esta tesis a mis hermanas por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar como profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS II
ÍNDICE DE TABLAS VI
ÍNDICE DE GRÁFICOS VIII
RESUMEN X
ABSTRACT XI
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Planteamiento del problema 1
1.2. Justificación 1
1.3. Objetivos General y específicos 2
1.3.1. General 2
1.3.2. Específicos 2
1.4. Alcance 2
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 4
2.1. Definición relaves 4
2.2. Caracterización de la organización "Campanillas S.A." 4
2.3. Características constructivas de la relavera Campanillas 5
2.4. Adoquines 7
2.4.1. Caracterización de adoquines 7
2.4.2. Tipos de adoquines 7
3. DISEÑO METODOLÓGICO 10
3.1. Tipo de estudio 10
3.2. Métodos y Técnicas 10
3.2.1. Aspectos visuales, forma y dimensiones 11
3.2.2. Propiedades físicas y mecánicas 12
3.2.2.1. Índice de Absorción Total de Agua 12
3.2.2.2. Resistencia a la tracción indirecta 13
3.2.2.3. Resistencia a la compresión 14
3.2.2.4. Resistencia al desgaste por abrasión 15

3.2.2.5. Resistencia al deslizamiento 15
4. ENSAYOS DE LABORATORIO 17
4.1. Medición de las variables en agregado fino 17
4.1.1. Gravedad específica 17
4.1.2. Granulometría, Contenido de humedad, límites de consistencia, clasificación SUCS y AASHTO. 19
4.1.2.1. Caracterización de arena fina de relave minero 19
4.1.2.2. Caracterización de arena fina 23
4.2. Medición de las variables de adoquines 27
4.2.1. Ensayo de tracción indirecta de adoquines 27
4.2.2. Resistencia a la compresión 30
4.2.3. Ensayo de absorción de adoquines 33
4.2.4. Ensayo de abrasión de adoquines 36
4.2.5. Ensayo de resistencia al deslizamiento de adoquines 39
5. VENTAJAS DEL USO DE RELAVES 43
5.1. Ventajas Sociales 43
5.2. Ventajas Ambientales 44
6. RESULTADOS 52
6.1. Ensayo de tracción indirecta de adoquines 52
6.2. Ensayo de absorción de adoquines 53
6.3. Ensayo de abrasión de adoquines 54
6.4. Ensayo de resistencia al deslizamiento de adoquines 55
6.5. Ensayo de compresión de adoquines 56
6.6. Resumen de Resultados 57
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 58
7.1. CONCLUSIONES 58
7.2. RECOMENDACIONES 59
8. BIBLIOGRAFÍA 59
9. ANEXOS 61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipos de adoquines y su ficha técnica 7
Tabla 3.1. Dosificación de Adoquines 11
Tabla 3.2. Tolerancias admisibles en adoquines 12
Tabla 3.3. Factor de corrección k 14
Tabla 3.4. Tabla de las condiciones de recepción de pavimentos según el coeficiente de resistencia al deslizamiento 16
Tabla 4.1. Arena Fina de mina de pétreos 17
Tabla 4.2. Determinación de la densidad y absorción de agua en el árido fino - ASTM C 128 - 01 17
Tabla 4.3. Arena Fina de Relave minero 18
Tabla 4.4. Determinación de la densidad y absorción de agua en el árido fino - ASTM C 128 - 01 18
Tabla 4.5. Granulometría de arena fina de relave minero 19
Tabla 4.6. Contenido de Humedad de arena fina de relave minero 20
Tabla 4.7. Límite líquido de Consistencia de arena fina de relave minero 20
Tabla 4.8. Límite Plástico de Consistencia de arena fina de relave minero 21
Tabla 4.9. Resultados Límites de consistencia 21
Tabla 4.10. Clasificación Método de arena fina de relave minero 22
Tabla 4.11. Granulometría de arena fina 23
Tabla 4.12. Contenido de Humedad de arena fina 24
Tabla 4.13. Límite Líquido de consistencia de arena fina 24
Tabla 4.14. Límite Plástico de consistencia de arena fina 25
Tabla 4.15. Resultados Límites de consistencia de arena fina 25
Tabla 4.16. Clasificación método SUCS y AASHTO de arena fina 25
Tabla 4.17. Tracción Indirecta - Adoquines sin relave 27
Tabla 4.18. Tracción Indirecta - Adoquines con relave al 25% 28
Tabla 4.19. Tracción Indirecta - Adoquines con relave al 50% 29
Tabla 4.20. Compresión - Adoquines sin relave 30
Tabla 4.21. Compresión - Adoquines con relave al 25% 31
Tabla 4.22. Compresión - Adoquines con relave al 50% 32
Tabla 4.23. Absorción - Adoquines sin relave 33
Tabla 4.24. Absorción - Adoquines con relave al 25% 34

Tabla 4.25. Absorción - Adoquines con relave al 50% *35*
Tabla 4.26. Abrasión - Adoquines sin relave *36*
Tabla 4.27. Abrasión - Adoquines con relave al 25% *37*
Tabla 4.28. Abrasión - Adoquines con relave al 50% *38*
Tabla 4.29. Resistencia al deslizamiento - Adoquines sin relave *39*
Tabla 4.30.Resistencia al deslizamiento - Adoquines con relave al 25% *40*
Tabla 4.31. Resistencia al deslizamiento - Adoquines con relave al 50% *41*
Tabla 5.1. Tipos de Superficie de la red vial provincial del Ecuador *43*
Tabla 5.2. Tipo de superficie de la red cantonal *44*
Tabla 5.3. Datos para la proyección de demanda *45*
Tabla 5.4. Datos de la proyección de demanda hasta el 2014 ..... *46*
Tabla 5.5. Datos para la proyección de demanda actualización 2020 ..... *47*
Tabla 5.6. Datos de Proyección hasta el 2030 ..... *48*
Tabla 6.1. Resultados tracción indirecta de adoquines *52*
Tabla 6.2. Resultados absorción de adoquines *53*
Tabla 6.3. Resultados abrasión de adoquines *54*
Tabla 6.4. Resultados resistencia al deslizamiento de adoquines *55*
Tabla 6.5.Resultados compresión de adoquines *56*
Tabla 6.6. Resumen de resultados de ensayos *57*

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 2.1 Ubicación de San Carlos de las minas 5
Figura 2.2. Proceso metalúrgico Fuente: (Lojano Vele, 2020) 5
Figura 2.3. Relavera Fuente. (Lojano Vele, 2020) 6
Figura 4.1. Curva Granulométrica de arena fina de relave minero 20
Figura 4.2. Diagrama Límite Líquido de arena fina de relave minero 21
Figura 4.3. Clasificación Método SUCS de arena fina de relave minero 22
Figura 4.4. Clasificación Método AASHTO de arena fina de relave minero 23
Figura 4.5. Curva Granulométrica de arena fina 24
Figura 4.6. Clasificación método SUCS de arena fina 26
Figura 4.7. Clasificación método AASHTO de arena fina 26
Figura 4.8. Tracción Indirecta - Adoquines sin relave 27
Figura 4.9. Tracción Indirecta - Adoquines con relave al 25% 28
Figura 4.10. Tracción Indirecta - Adoquines con relave al 25% 29
Figura 4.11. Compresión - Adoquines sin relave 30
Figura 4.12. Compresión - Adoquines con relave al 25% 31
Figura 4.13. Compresión - Adoquines con relave al 50% 32
Figura 4.14. Compresión - Adoquines sin relave 33
Figura 4.15. Compresión - Adoquines con relave al 25% 34
Figura 4.16. Compresión - Adoquines con relave al 50% 35
Figura 4.17. Abrasión - Adoquines sin relave 36
Figura 4.18. Abrasión - Adoquines con relave al 25% 37
Figura 4.19. Abrasión - Adoquines con relave al 50% 38
Figura 4.20. Resistencia al deslizamiento - Adoquines sin relave 39
Figura 4.21. Resistencia al deslizamiento - Adoquines con relave al 25% 41
Figura 4.22. Resistencia al deslizamiento - Adoquines con relave al 50% 42
Figura 5.1. Proyección de la Demanda de adoquines en Ecuador 45
Figura 5.2. Proyección de la Demanda de adoquines en Ecuador hasta el 2014 46
Figura 5.3. Proyección de la Demanda de adoquines en Ecuador 47
Figura 5.4. Detalle del Esquema del Proyecto Propuesto (Área de Mina y Cantera) 49
Figura 5.5. Estructuras asociadas a las modificaciones e infraestructuras nuevas 50

Figura 6.1. Resultados tracción indirecta de adoquines *52*
Figura 6.2. Resultados absorción de adoquines *53*
Figura 6.3. Resultados abrasión de adoquines *54*
Figura 6.4. Resultados resistencia al deslizamiento de adoquines *55*
Figura 6.5. Resultados compresión de adoquines *56*

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis es estudiar propiedades físicas y mecánicas de adoquines con relave minero generados en la Planta de Beneficio Campanillas para su uso en vías, pues los relaves mineros son una fuente de contaminación ambiental considerables en la provincia de Zamora Chinchipe que cuenta con grandes extensiones de explotación minera. El uso en adoquines sería una forma de aprovechamiento de este material y así mitigar el impacto ambiental de los desechos mineros y de esa manera mejorar la vialidad de las comunidades aledañas a los proyectos mineros, así como también generar fuentes de trabajo.

La investigación se ha desarrollado bajo la elaboración de adoquines sin relave y con relave, para posteriormente ensayándolos bajo la norma INEN 3040. La misma donde podemos encontrar los diferentes ensayos y su metodología correspondiente. Los adoquines con relave minero fueron elaborados a partir de la mezcla usando diferentes porcentajes de relaves, 25% y 50%, reemplazados como agregado fino en la mezcla de adoquines usada en la fábrica de adoquines de la parroquia Los Encuentros.

De acuerdo con los resultados de la investigación, los adoquines reducen considerablemente sus propiedades físicas y mecánicas al ser mezclados con relave minero. Por lo cual, sus resultados no cumplen con la norma INEN 3040.

Palabras claves: adoquines, relave, contaminación, norma, propiedades, agregado.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to study physical and mechanical properties of cobblestones with mining tailings generated in the Campanillas Benefit Plant for use on roads, since mining tailings are a considerable source of environmental contamination in the province of Zamora Chinchipe that has large areas of mining. The use in paving stones would be a way of taking advantage of this material and thus mitigating the environmental impact of mining waste and thus improving the roads of the communities surrounding the mining projects, as well as generating sources of work.

The research has been developed under the elaboration of cobblestones without tailings and with tailings, for later testing them under the INEN 3040 standard. The same where we can find the different tests and their corresponding methodology. The cobblestones with mining tailings were made from the mixture using different percentages of tailings, 25% and 50%, replaced as fine aggregate in the cobblestone mixture used in the cobblestone factory of the Los Encuentros parish.

According to the results of the investigation, the paving stones considerably reduce their physical and mechanical properties when mixed with mining tailings. Therefore, its results do not comply with the INEN 3040 standard.

Keywords: cobblestones, tailings, contamination, standard, properties, aggregate.

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo se dará a conocer la alternativa de usar relave minero en Adoquines y su posible uso en vías, para ello se hace un estudio previo de la problemática que existe al no disponer de manera correcta los residuos como lo es el relave. Además, propondremos el estudio físico y mecánico de prototipos de adoquines en diferentes porcentajes de material de relave.

1.1. Planteamiento del problema

En la Planta de Beneficio Campanillas debido a que no existe un óptimo proceso de reutilización de residuos mineros principalmente de los relaves, la concesión minera se ve en la necesidad de buscar planes que ayuden a mitigar el impacto que estos residuos provocan al ambiente dado que en la actualidad los mismos son depositados en relaveras sin ser reutilizados a beneficio de la empresa y la comunidad aledaña a la zona. Por lo tanto, en la presente investigación se buscará analizar las propiedades físicas y mecánicas de adoquines elaborados con relave minero de la planta de beneficio Campanillas para su uso en vías con la finalidad de mejorar la gestión de estos desechos mineros.

1.2. Justificación

Los residuos mineros como son los relaves están asociados a la contaminación potencial de las agua superficiales y subterráneas y es por ellos que el presente trabajo de titulación acerca del uso del relave minero busca solucionar el problema de la falta de área para colocar los residuos y la contaminación ambiental que los mismos generan a largo plazo por la infiltración de los relaves (Espín, Jarrín, & Escobar, 2017).

El problema se agrava cuando existe la extracción no controlada de recursos naturales donde no se realiza un plan de manejo de residuos de minería, puesto a que en ese caso el relave es arrojado sobre las mismas aguas.

Es por ello que se busca soluciones diferentes a las del abandono y confinamiento de los relaves como es el caso de usar el material para la generación de materiales de pavimento semirrígido, con el objetivo de brindar un mejor manejo en la gestión de residuos de minería, generando de esa manera una rentabilidad económica para la empresa (Romero & Flores, 2010).

Finalmente, motivamos a que futuras investigaciones se realicen en los temas de reutilización de material minero para de esta manera buscar soluciones óptimas que ayuden reducir la contaminación ambiental y salud pública de los alrededores de estas áreas mineras.

1.3. Objetivos General y específicos

1.3.1. General

- Estudiar propiedades físicas y mecánicas de adoquines con relave minero generados en la Planta de Beneficio Campanillas para su uso en vías.

1.3.2. Específicos

- Caracterizar las propiedades físicas de los relaves de la Planta de Beneficio Campanillas para su uso en vías.
- Aplicar los ensayos descritos en la norma NTE INEN 3040 "Adoquines de hormigón. requisitos y métodos de ensayo", para determinar sus propiedades físicas y mecánicas.
- Estimar el probable uso de relaves en la fabricación de adoquines en base a las propiedades físicas obtenidas en laboratorio.
- Determinar la dosificación óptima para la producción de adoquines que garantice sus propiedades físicas y mecánicas para su uso en vías.
- Analizar las ventajas social y ambiental de la utilización de los relaves en adoquines.

1.4. Alcance

El presente estudio explorará el uso del relave minero de la Planta de Beneficio Campanillas como alternativa en adoquines centrándonos específicamente en su aplicación en vías, de tal manera que cumpla con lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE - INEN 3040). Para ello se utilizará dicho residuo en diferentes concentraciones para determinar cuál de ellos cumple con la normativa de calidad para que su aplicación en vías sea óptima y apropiada.

Únicamente se analizarán sus propiedades físicas y mecánicas ya que se tiene estudios previos de la zona donde se encuentran los relaves, también se hará uso de dosificaciones de adoquines dadas por parte del fabricante.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En el siguiente capítulo se mostrará información recopilada y relacionada con adoquines y relave minero, que servirán como base para el desarrollo de la investigación.

2.1. Definición relaves

El producto en la relavera es el fruto de la roca triturada con agua y considerando que se desconoce el proceso de beneficio y el complemento aditivo químico para la recuperación del mineral. La permanencia del material genera la alteración paisajística, la modificación del suelo y muy posiblemente la filtración y contaminación del nivel freático y la calidad del suelo (Sánchez, 2018). En la actualidad, no se hace uso de químicos para la recuperación del oro.

2.2. Caracterización de la organización "Campanillas S.A."

La planta de beneficio Campanillas S.A de oro, es una empresa privada que en la actualidad se encuentra operada bajo un contrato con la empresa minera del Austro S.A, MINCAMPA MINERA CAMPANILLAS S.A operada por dos concepciones mineras y se encuentra registrada reglamentariamente en Registro Minero de la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) de Zamora hasta el año 2021. En la actualidad realiza operaciones de refinación, comercialización, explotación y cierre de mina. En el mes de junio del 2016 el Ministerio de Minería emite la autorización Nro.MM-CZM-S-2016-0454-RM, en la cual se autoriza la instalación y mantenimiento de la planta de beneficio de oro. (Lojano Vele, 2020)

La Planta de Beneficio se ubica en las coordenadas WGS-84, X: 745.641 m, Y: 9551.127 m a una altitud de 1450 msnm en la parroquia de San Carlos de las minas, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, en el sur del Ecuador. El sector es conocido por ser un sector altamente minero donde hace muchos años atrás se dio una masiva explotación minera de oro. El área de la concesión minera es de 1874.471 m^2 y se encuentra rodeada en gran parte de bosques secundarios que cuenta con fuentes de agua cercana a la Planta. (Lojano Vele, 2020)



Figura 2.1 **Ubicación de San Carlos de las minas**

Fuente: (Lojano Vele, 2020)

2.3. Características constructivas de la relavera Campanillas

El sitio de la relavera se encuentra ubicado a 50 metros de la Planta de Beneficio de Oro y en una diferencia de cota de 40 metros, que permite transportar las colas por gravedad y se dispone de superficie suficiente para acumular el material (colas). Las colas provenientes de la planta se transportan por gravedad, utilizando tubería de PVC de 6 pulgadas de diámetro hasta la piscina para el respectivo proceso de sedimentación y clarificación. (Lojano Vele, 2020)

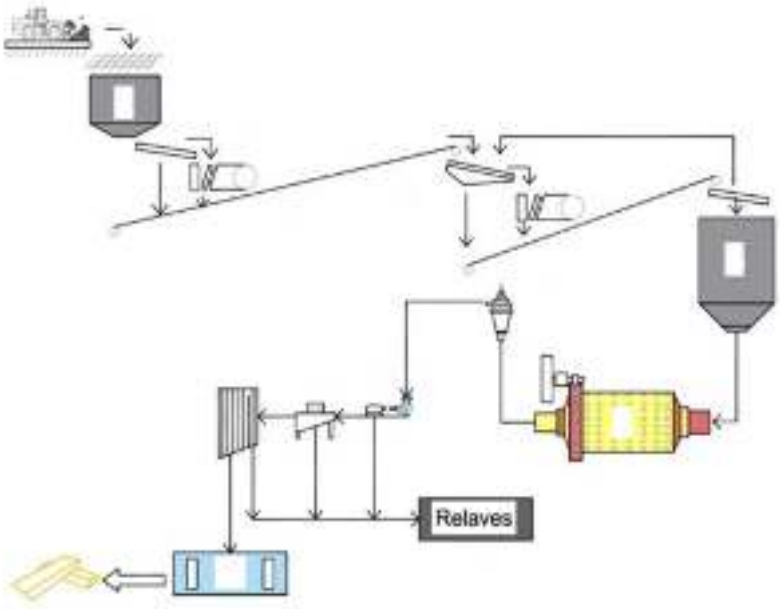


Figura 2.2. **Proceso metalúrgico**

Fuente: (Lojano Vele, 2020)

En esta relavera se acumulan los residuos sólidos y las soluciones liquidas provenientes de la Planta de Beneficio de las etapas de concentración gravimétrica. Fue construida sobre un área de 15400 m² (15,4 ha), el cual tiene una capacidad total de 24.000 m³, donde se descargan 8.000 m³ de residuos mineros por año aproximadamente. Por lo tanto su tiempo de vida estimado es de 3 años, esta relavera cuenta con un muro de contención en forma de "L" anclado al macizo rocoso de los taludes laterales naturales, cuenta además con un dique de contención seguido al muro excavado en "L" que consta de 70% de arcilla y 30 % de grava, sistema de desfogue, vertederos, cajas de control interna, drenes y sub-drenes y cunetas de coronación, la base de la poza cuenta con una capa de 50 cm de arcilla en toda la superficie para garantizar la impermeabilización, toda la superficie de la poza está recubierta con láminas de geo-membrana de muy baja permeabilidad para prevenir la filtración de fluidos y así también para cuidar el medio ambiente. Estos relaves mediante bombas de arena constantemente son enviadas como relleno, hacia las instalaciones de las minas que han dejado de ser explotadas (abandonadas) y por lo tanto extienden la vida útil de la relavera hasta un periodo de 6 años aproximadamente. (Lojano Vele, 2020)



***Figura 2.3*. Relavera**

Fuente. (Lojano Vele, 2020)

2.4. Adoquines

Ferreira & Serrano (2009) señalan, los pavimentos de adoquín de hormigón proceden desde hace mucho tiempo atrás, desde tiempos de los Romanos, y en la actualidad se los ha vuelto a usar pues tiene ventajas sobre la arcilla cocida y la piedra. El uso de adoquines es extenso en algunos países de Latinoamérica y se conoce que la producción del mismo comienza en los años 60 y comienzo de los 70, como es el caso de: Venezuela, Colombia Ecuador y Argentina debido a su versatilidad geométrica. Sin embargo, los procesos para normalizar tardaron de 15 a 20 años

Los adoquines son buenos elementos para transferir cargas y esfuerzos por las brechas entre sí y son recomendables donde hay un alto tráfico y carga pesada (Ferreira & Serrano, 2009).

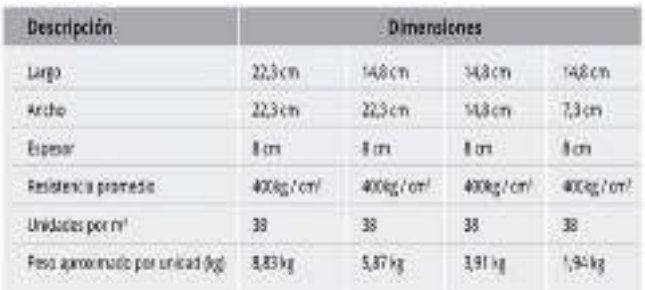
2.4.1. Caracterización de adoquines

El adoquín es un agregado formado por: cemento, agua y agregados. En la normativa ASTM C125 se definen los materiales agregados como son: arena, grava o piedra molida; los cuales son usados para formar hormigón, en el caso particular de investigación adoquines de hormigón.

2.4.2. Tipos de adoquines

Tabla 2.1

Tipos de adoquines y su ficha técnica

Modelo	Ficha técnica	Imagen
Routland		

Descripción	Dimensiones			
Largo	22,3 cm	14,8 cm	14,8 cm	14,8 cm
Ancho	22,3 cm	22,3 cm	14,8 cm	7,3 cm
Espesor	8 cm	8 cm	8 cm	8 cm
Resistencia promedio	400kg/cm²	400kg/cm²	400kg/cm²	400kg/cm²
Unidades por m²	38	38	38	38
Peso aproximado por unidad (kg)	8,83 kg	5,87 kg	3,91 kg	1,94 kg

Corona

Descripción	Dimensiones
Largo	17.6 cm
Ancho	22.6 cm
Espesor	8 cm
Resistencia promedio	400kg / cm²
Unidades por m²	37
Peso aproximado por unidad (kg)	4,59 kg



Continental

Descripción	Dimensiones
Largo	22.7 cm
Ancho	13.7 cm
Espesor	6 cm
Resistencia promedio	400kg / cm²
Unidades por m²	36
Peso aproximado por unidad (kg)	3,4 kg



Centauro

Descripción	Dimensiones
Largo	19,14 cm
Ancho	17,79 cm
Espesor	6 cm
Resistencia promedio	400kg / cm²
Unidades por m²	44
Peso aproximado por unidad (kg)	2,8 kg



Azteca

Descripción	Dimensiones
Largo	23,8 cm
Ancho	21,8 cm
Espesor	8 cm
Resistencia promedio	400kg / cm²
Unidades por m²	21
Peso aproximado por unidad (kg)	7,8 kg



Tradición

Descripción	Dimensiones
Largo	20 cm
Ancho	10 cm
Espesor	6 / 8 cm
Resistencia promedio	400kg / cm²
Unidades por m²	50
Peso aproximado por unidad (kg)	2,6 / 4,5 kg



Andaluz

Descripción	Dimensiones
Largo	20 cm
Ancho	20 cm
Espesor	6 / 8 cm
Resistencia promedio	400kg / cm²
Unidades por m²	25
Peso aproximado por unidad (kg)	5,2 / 6,9 kg



Roma

Descripción	Dimensiones
Largo	15 cm
Ancho	15 cm
Espesor	6 cm
Resistencia promedio	400kg / cm²
Unidades por m²	45
Peso aproximado por unidad (kg)	2,86 kg



Fuente: D'CONCRETO

3. DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se detallarán: el tipo de estudio empleado para el trabajo de investigación, así como el detalle de cada uno de los ensayos que se aplicarán a los prototipos de adoquines, siguiendo la norma INEN 3040.

3.1. Tipo de estudio

El tipo de metodología que se empleará es descriptiva y experimental para realizar esta investigación.

En cuanto al tipo descriptiva se lo realizará para determinar las propiedades físicas del relave minero de la Planta de Beneficio Campanillas. En lo que respecta al tipo experimental nos centraremos en la variación del porcentaje de relave en la elaboración del adoquín, de tal manera que se pueda determinar la dosificación óptima que cumpla con lo establecido por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en su norma 3040.

Para efectuar lo anteriormente señalado, el estudio se lo realizará en 2 etapas que comprenden el trabajo de campo y el trabajo de gabinete (procesamiento de resultados). En el trabajo de campo se abarcará la observación y descripción del lugar, así como la toma de muestras necesarias de relave para su posterior estudio. Mientras que el trabajo de gabinete comprenderá:

- Clasificación de datos mediante tablas.
- Análisis y la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos realizados.
- Redacción de conclusiones en base a resultados óptimos.

3.2. Métodos y Técnicas

Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN 2016) en su norma Nº 3040 se especifica los requisitos, materiales, propiedades y métodos de ensayo de los adoquines prefabricados de hormigón no armado. (INEN, 2016)

Los adoquines serán fabricados reemplazando el agregado fino o polvo de piedra con los materiales de los relaves, de acuerdo con la siguiente dosificación:

Tabla 3.1.

Dosificación de Adoquines

MATERIALES	MUESTRA 1 0% RELAVE	MUESTRA 2 25% RELAVE	MUESTRA 3 50% RELAVE
CEMENTO ATENAS HIDRÁULICO TIPO GU	1	1	1
AGREGADO GRUESO	2	2	2
AGREGADO FINO	2	1.5	1
RELAVE	0	0.5	1

Los adoquines que se fabricaron durante la investigación cuentan con diferentes dosificaciones para ser ensayados, con el objetivo de obtener las propiedades y características en base a la norma INEN 3040. Los ensayos de la norma a la cual daremos relevancia son los siguientes:

- Aspectos visuales, forma y dimensiones.
- Índice de Absorción Total de Agua.
- Resistencia a la Tracción Indirecta.
- Resistencia al Desgaste por Abrasión mediante ensayo de Rueda Ancha.
- Resistencia al Deslizamiento.

3.2.1. Aspectos visuales, forma y dimensiones

De acuerdo al INEN (2016) se mencionan los siguientes.

- **Apariencia:** "Cuando se examine la cara vista de los adoquines no debe tener defectos tales como fisuras o descamaciones" (INEN, 2016).
- **Textura:** "Las variaciones en la consistencia de la textura de los adoquines pueden ser causadas por variaciones inevitables de las propiedades de las materias primas y variaciones en el proceso de curado, y no se consideran significativas" (INEN, 2016).
- **Color:** "Las variaciones en la consistencia del color de los adoquines pueden ser causadas por variaciones inevitables en el tono y características de las materias primas y por variaciones en el proceso de curado" (INEN, 2016).
- **Forma y dimensiones:** Las dimensiones nominales serán las que se tomen como referencia dimensional. (INEN, 2016)

Tabla 3.2.

Tolerancias admisibles en adoquines

Espesor mm	Longitud mm	Ancho mm	Espesor mm
<100	±2	±2	±3
≥100	±3	±3	±4

Fuente: INEN 3040

La diferencia entre dos medidas del espesor de un mismo adoquín debe ser ≤ 3 mm. (INEN, 2016).

3.2.2. Propiedades físicas y mecánicas

Las siguientes propiedades ayudan a determinar el comportamiento de los adoquines frente a fuerzas externas. Además, se detalla los valores límite permitidos de acuerdo a la norma INEN 3040.

3.2.2.1.Índice de Absorción Total de Agua

Mide la resistencia climática mediante el ensayo de absorción total de agua, los adoquines deben cumplir con un índice de absorción inferior o igual a 6 % para ser adecuados.

El proceso de ensayo empieza después de acondicionar la probeta a (20 ± 5) °C, donde la misma se sumerge en agua a esa temperatura en agua para posteriormente colocarla en el horno. Este proceso concluye cuando el adoquín haya alcanzado una masa constante. Se considera que la masa es constante cuando la variación de peso en el adoquín entre dos medidas seguidas es inferior a 0,1% en una etapa de 24 horas. (INEN, 2016)

"El índice de absorción de agua se expresa relacionando la diferencia del peso de la probeta saturada menos el peso de la probeta seca contra el peso de la probeta seca, expresado en porcentaje" (INEN, 2016).

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100 \qquad \textbf{(3.1)}$$

Dónde:

W_a: índice de absorción de agua.

M_1: es la masa de la probeta saturada de agua, expresada en gramos

M_2: es la masa final de la probeta seca, expresada en gramos.

3.2.2.2. Resistencia a la tracción indirecta

Mide la resistencia a la rotura (T), mediante el ensayo de tracción indirecta. La resistencia característica a la tracción indirecta (T) debe ser superior o igual a 3,6 MPa. Ningún valor individual debe ser inferior a 2,9 MPa. (INEN, 2016)

"Consiste en someter a una presión de punzonamiento mediante una barra de sección circular entre su cara vista y su cara de apoyo" (INEN, 2016)

Para calcular del área del plano(s) en el ensayo de tracción indirecta en la muestra de adoquín se usará la siguiente ecuación: (INEN, 2016)

$$S = l * t \tag{3.2}$$

Dónde:

$\boldsymbol{S}$: $superficie\ de\ tracción\ indirecta, en\ mm^2$.

$\boldsymbol{l}$: media de 2 medidas de la longitud de tracción indirecta, una en su cara vista y otra en su dorso, en mm

$\boldsymbol{t}$: es el espesor del adoquín en la sección de tracción indirecta, en mm, y es la media de tres medidas, una en el medio y las otras dos en los extremos.

Se calcula la resistencia a tracción indirecta del adoquín ensayado, T, en MPa empleando la siguiente ecuación:

$$T = 0.637 * k * \frac{P}{S} \tag{3.3}$$

Dónde:

$\boldsymbol{T}$: $resistencia\ a\ tracción\ indirecta\ en\ MPa.$

$\boldsymbol{P}$: $carga\ de\ tracción\ indirecta\ en\ N.$

$\boldsymbol{k}$: $factor\ de\ corrección\ para\ el\ espesor\ del\ adoquín.$

$k = 1.3 - 30 * \left(0.18 - \frac{t}{1000}\right)^2$; Si 140 mm < t ≤ 180 mm.

$k = 1.3$; Si t > 180 mm.

Para valores de t ≤ 140 mm se determina mediante la siguiente tabla:

Tabla 3.3.

Factor de corrección k

t (mm)	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**100**	**110**	**120**	**130**	**140**
k	0.71	0.79	0.87	0.94	1.00	1.06	1.11	1.15	1.19	1.23	1.25

Fuente: INEN 3040

3.2.2.3.Resistencia a la compresión

"El ensayo consiste en aplicar una carga uniforme al adoquín que se encuentra entre dos placas y para obtener la resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima aplicada en los adoquines entre el área neta de las caras de la unidad." (Jácome Calderón, 2020)

Dentro de la normativa INEN ya no se cuenta con el ensayo de compresión por lo que el valor de resistencia lo hallamos de acuerdo con la ecuación de Adam M. Nevill:

$$f_t = 0.3 * f_c^{\frac{2}{3}} \quad \textbf{(3.4)}$$

Dónde:

ft = Resistencia a la tracción indirecta.

fc = Resistencia a la compresión.

Despejando se tiene:

$$f_c = \left(\frac{f_t}{0.3}\right)^{\frac{3}{2}} \quad \textbf{(3.5)}$$

En el caso de adoquín peatonal el rango permitido lo encontramos en la norma INEN 1488 Adoquines. Requisitos, el cual especifica un valor de Resistencia característica a la compresión de 20 MPa.

3.2.2.4. Resistencia al desgaste por abrasión

La resistencia al desgaste por abrasión hace referencia a la resistencia que ofrecen los adoquines a las ruedas de los autos que circulan sobre ellos y se determina mediante el ensayo de la rueda ancha.

"El ensayo se realiza desgastando la cara vista del adoquín con material abrasivo bajo condiciones normalizadas. Para determinar la resistencia al desgaste, se mide la longitud de cuerda del arco que se forma al desgastar la superficie vista del adoquín" (INEN, 2016). La longitud de cuerda de la huella creada por la rueda ancha sea menor o igual a 25 mm. (INEN, 2016).

3.2.2.5. Resistencia al deslizamiento

Este parámetro se obtiene mediante el ensayo con el péndulo de fricción evaluando las características de rozamiento de la cara vista de la probeta.

Una lámina de goma normalizada se fija al final del péndulo de fricción, el cual se fija a un patín deslizante sometido el cual está sometido a una tensión atreves de un muelle. Cuando oscila el péndulo medimos el rozamiento entre la superficie del adoquín que se va a ensayar y el patín. En este ensayo medimos la longitud que oscila, usando una escala calibrada en el péndulo de fricción. (INEN, 2016)

Condiciones para la recepción de pavimentos según el coeficiente de resistencia al deslizamiento:

Tabla 3.4.

Tabla de las condiciones de recepción de pavimentos según el coeficiente de resistencia al deslizamiento

FRICCIÓN, VALOR DE CDR, ADIMENSIONAL	CALIFICACIÓN
< 0.50	Malo (derrapamiento del vehículo)
0.51 a 0.60	De regular a bueno
0.61 a 0.80	Bueno
0.81 a 0.90	De bueno a regular
> 0.91	Malo (desgaste de neumáticos)

Fuente: GEOCONS

4. ENSAYOS DE LABORATORIO

En este capítulo se presentarán los resultados de los ensayos de laboratorio para los diferentes adoquines con relave minero y carentes del mismo. Primero se ensayarán las características de los agregados finos para determinar cuál es su clasificación de acuerdo con la SUCS y AASHTO y luego el relave minero para ser comparado con la norma INEN 3040 e INEN 1488.

4.1. Medición de las variables en agregado fino

A continuación, se muestra los ensayos a realizarse al agregado fino y relave que se usará para la fabricación de adoquines.

4.1.1. Gravedad específica

Tabla 4.1.

Arena Fina de mina de pétreos

DATOS	
Universidad:	Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Proyecto:	Trabajo de titulación
Muestra:	Arena Gruesa
Yacimiento:	Mina Los Encuentros
Sector:	Los Encuentros
Fecha:	18/05/2021
Solicitado:	Lojano Estanislao y Proaño Pamela

Tabla 4.2.

Determinación de la densidad y absorción de agua en el árido fino – ASTM C 128 - 01

Masa de la Muestra de ensayo (SSS)	500.000
Masa del matraz más agua	1684.800
Masa del matraz más agua más muestra	1992.500
Masa de la muestra seca al horno	492.600
Densidad real (estado SSS): Dsss (gr/cc)	2,600
Densidad Seca (estado seco): Ds (gr/cc)	2.562
Porcentaje de Absorción: Pa (%)	1.50
Valor Promedio	
Dsss:	2.600
Ds:	2.562
Ps:	1.5%

Tabla 4.3.

Arena Fina de Relave minero

DATOS	
Universidad:	Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Proyecto:	Trabajo de titulación
Muestra:	Arena Gruesa
Yacimiento:	Mina campanillas
Sector:	San Carlos De Las Minas
Fecha:	18/05/2021
Solicitado:	Lojano Estanislao y Proaño Pamela

Tabla 4.4.

Determinación de la densidad y absorción de agua en el árido fino - ASTM C 128 - 01

Masa de la Muestra de ensayo (SSS)	500.000
Masa del matraz más agua	1684.800
Masa del matraz más agua más muestra	1977,300
Masa de la muestra seca al horno	460,000
Densidad real (estado SSS): Dsss (gr/cc)	2.410
Densidad Seca (estado seco): Ds (gr/cc)	2.217
Porcentaje de Absorción: Pa (%)	8.700
Valor Promedio	
Dsss:	2.410
Ds:	2.217
Ps:	8.700%

4.1.2. Granulometría, Contenido de humedad, límites de consistencia, clasificación SUCS y AASHTO.

Los siguientes ensayos ayudarán a caracterizar el agregado fino, así como el relave para determinar qué tipo de suelos se tratan de acuerdo con clasificación SUCS Y AASHTO.

4.1.2.1.Caracterización de arena fina de relave minero

Tabla 4.5.

Granulometría de arena fina de relave minero

MICR.	TAMIZ	Peso Retenido Acumulado (Gr.)	% Retenido	% Que pasa
100	4"	0	0	100
75	3"	0	0	100
63	21/2"	0	0	100
50	2"	0	0	100
37.5	1 1/2"	0	0	100
25	1"	0	0	100
19	3/4"	0	0	100
12.5	1/2"	0	0	100
9.5	3/8"	0	0	100
4.75	Nº .4	0	0	100
	Pasa Nº .4	2935	100	0
2.36	Nº .8			
2	Nº .10	2	0	100
1.18	Nº .16	4	1	99
0.85	Nº .20			
0.6	Nº .30			
0.425	Nº .40	7	1	99
0.3	Nº .50			
0.15	Nº .100	14	3	97
0.075	Nº .200	57	12	88.3
	Pasa Nº .200	429	88.3	
	TOTAL	**2935**		

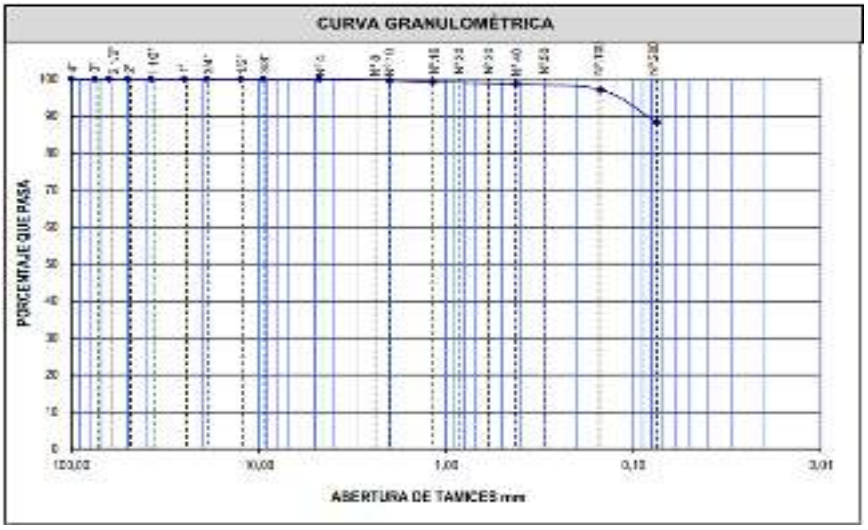


Figura 4.1. **Curva Granulométrica de arena fina de relave minero**

Tabla 4.6.

Contenido de Humedad de arena fina de relave minero

Contenido	
Peso húmedo	62.81
Peso seco	56.68
Peso cápsula	17.09
% humedad	15.48
Resultado	15.48

Tabla 4.7.

Límite líquido de Consistencia de arena fina de relave minero

Límite líquido				
Número de Cápsula	121	402	35	1
Peso de la Cápsula (gr)	17.44	16.89	17.37	18.05
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	32.14	29.48	31.55	32.45
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr)	28.31	26.3	28.1	29
Peso del suelo Seco (gr)	10.87	9.41	10.73	10.95
Peso del Agua (gr)	3.83	3.18	3.45	3.45
Contenido de humedad (%)	35.23	33.79	32.15	31.51
Número de Golpes	12	18	27	31

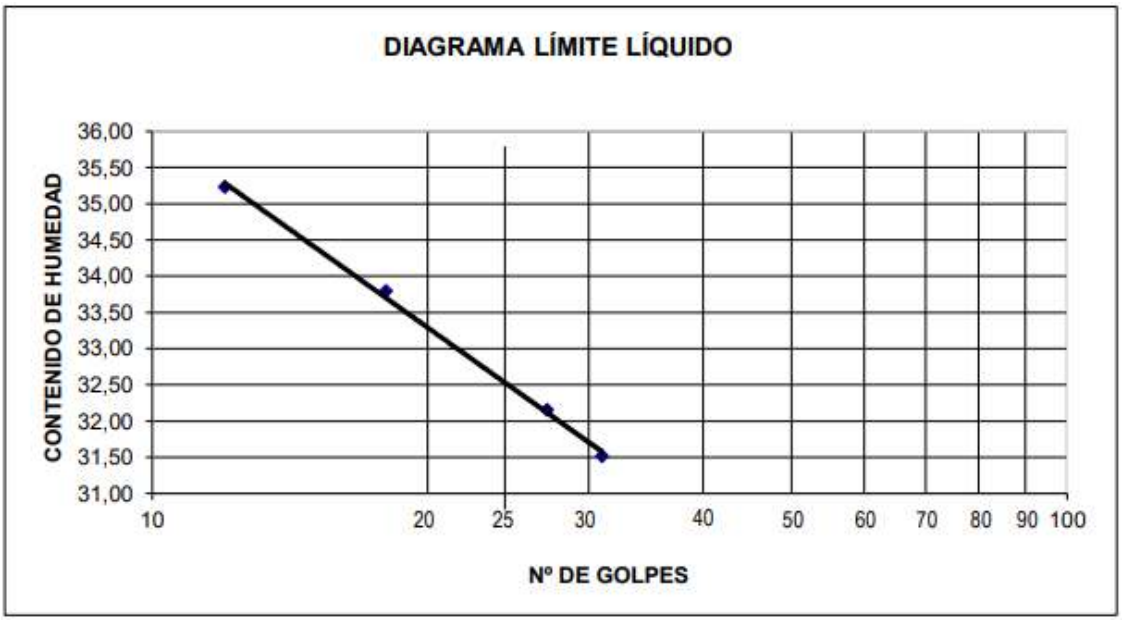


Figura 4.2. **Diagrama Límite Líquido de arena fina de relave minero**

Tabla 4.8.

Límite Plástico de Consistencia de arena fina de relave minero

Límite plástico			
Número de Cápsula	158	3	39
Peso de la Cápsula (gr)	8.11	6.57	6.39
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo (gr)	8.37	6.99	7.05
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr)	8.32	6.91	6.92
Peso del suelo Seco (gr)	0.21	0.34	0.53
Peso del Agua (gr)	0.05	0.08	0.13
Contenido de humedad (%)	23.81	23.53	24.53
Contenido medio de humedad (%)	L.P. = 23.96%		

Tabla 4.9.

Resultados Límites de consistencia

Valores ensayo	Valores enteros según norma
L.L = 32.5%	L.L = 33%
L.P. = 24%	L.P. = 24%
I.P. = 8.5%	I.P. = 9%

Tabla 4.10.

Clasificación Método de arena fina de relave minero

Límite líquido LL.	33%
Límite plástico L.P.	24%
Índice de plasticidad I.P.	9%

Clasificación	
Pasa tamiz Nº 4	100%
Pasa tamiz Nº 200	88%
D60	
D30	
D10 (diámetro efectivo)	
Coeficiente de uniformidad (Cu)	
Grado de curvatura (Cc)	
Valor del índice de grupo (IG)	8

-

- **SUCS**

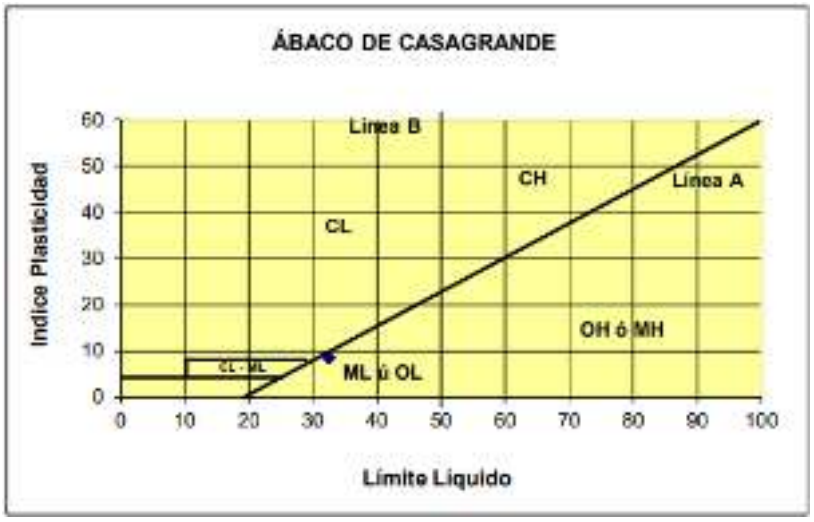


***Figura 4.3*. Clasificación Método SUCS de arena fina de relave minero**

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)
Limo baja plasticidad ML

- **AASHTO**



Figura 4.4. **Clasificación Método AASHTO de arena fina de relave minero**

Sistema de Clasificación de Suelos (AASHTO)
A-4 Suelo limoso

4.1.2.2. Caracterización de arena fina

Tabla 4.11.

Granulometría de arena fina

Micr.	Tamiz	Peso Retenido Acumulado (Gr.)	% Retenido	% Que pasa
100	4"	0	0	100
75	3"	0	0	100
63	21/2"	0	0	100
50	2"	0	0	100
37.5	1 1/2"	0	0	100
25	1"	0	0	100
19	3/4"	0	0	100
12.5	1/2"	0	0	100
9.5	3/8"	0	0	100
4.75	Nº .4	0	0	100
	Pasa Nº .4	1968	100	0
2.36	Nº .8			
2	Nº .10	15	3	97
1.18	Nº .16	82	15	85
0.85	Nº .20			
0.6	Nº .30			
0.425	Nº .40	452	81	19
0.3	Nº .50			

0.15	Nº .100	521	93	7
0.075	Nº .200	544	97	2.5
	Pasa Nº .200	14	2.5	
	Total	**1968**		

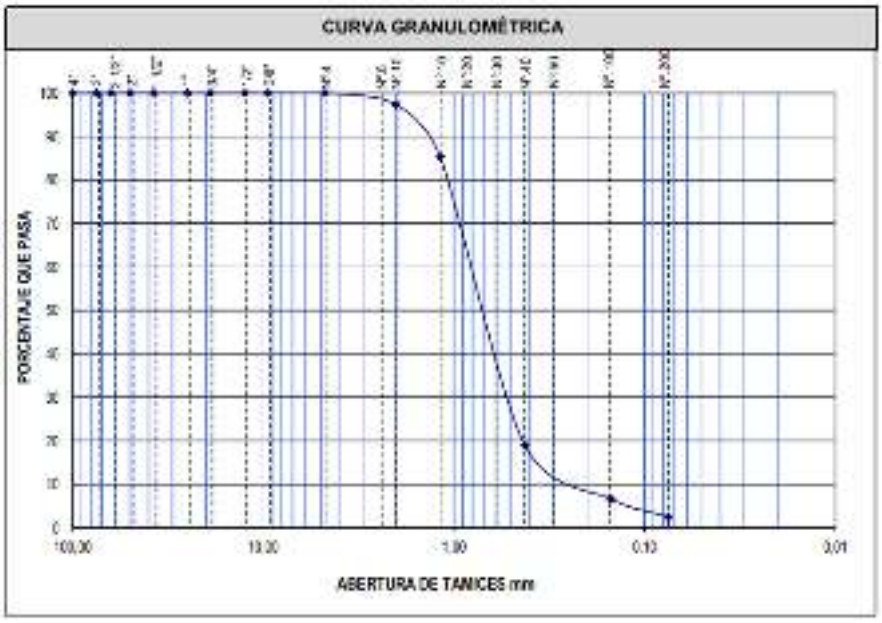


Figura 4.5. **Curva Granulométrica de arena fina**

Tabla 4.12.

Contenido de Humedad de arena fina

Contenido	
Peso húmedo	75.63
Peso seco	68.41
Peso cápsula	18.45
% Humedad	14.45
Resultado	14.45

Tabla 4.13.

Límite Líquido de consistencia de arena fina

Límite Líquido
Número de Cápsula
Peso de la Cápsula (gr)
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo (gr)
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr)
Peso del suelo Seco (gr)
Peso del Agua (gr)
Contenido de humedad (%)
Número de Golpes

Tabla 4.14.

Límite Plástico de consistencia de arena fina

Límite Plástico
Número de Cápsula
Peso de la Cápsula (gr)
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo (gr)
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr)
Peso del suelo Seco (gr)
Peso del Agua (gr)
Contenido de humedad (%)
Contenido medio de humedad (%)

Tabla 4.15.

Resultados Límites de consistencia de arena fina

Valores ensayo	Valores enteros según norma
L.L = 0.0%	L.L = 0.0%
L.P. = 0.0%	L.P. = 0.0%
N.P.	N.P.

Tabla 4.16.

Clasificación método SUCS y AASHTO de arena fina

Límite Líquido LL.	0%
Límite Plástico L.P.	%
Índice de Plasticidad I.P.	NP

Clasificación	
Pasa tamiz Nº 4	100%
Pasa tamiz Nº 200	3%
D60	0.93 mm
D30	0.54 mm
D10 (diámetro efectivo)	0.22 mm
Coeficiente de uniformidad (Cu)	4.22
Grado de curvatura (Cc)	1.44
Valor del índice de grupo (IG)	0

- **SUCS**

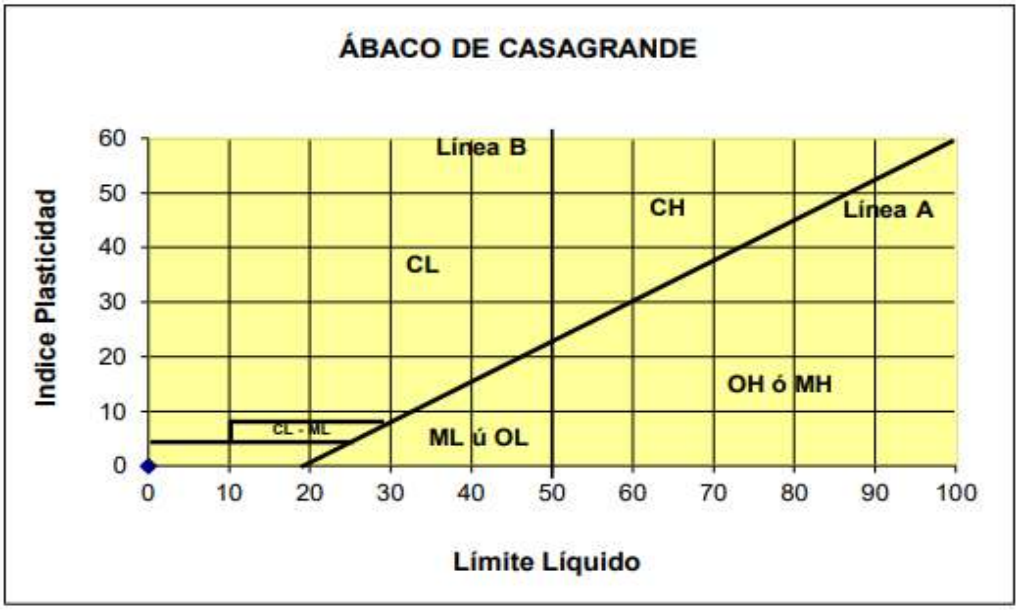


Figura 4.6. **Clasificación método SUCS de arena fina**

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)
Arena mal graduada SP

- **AASHTO**



Figura 4.7. **Clasificación método AASHTO de arena fina**

Sistema de Clasificación de Suelos (AASHTO)
A-1b Fragmentos de roza, grava y arena

4.2. Medición de las variables de adoquines

A continuación, se muestra los ensayos realizados a los prototipos de adoquines sin relave, con relave al 25% y al 50%, de acuerdo a la normativa INEN 3040.

4.2.1. Ensayo de tracción indirecta de adoquines

Los adoquines serán evaluados de acuerdo con el Anexo E de la norma INEN 3040 donde se describe la aplicación de una carga sobre piezas de compresión en las caras vistas del adoquín.

Tabla 4.17.

Tracción Indirecta - Adoquines sin relave

MUESTRA No.	ÁREA (A) mm2	CARGA (P) N	CARGA POR LONGITUD (F) N/mm	RESISTENCIA A TRACCIÓN (T) MPa	RESISTENCIA PROMEDIO MPa	(S) MPa.	VALOR NORMA INEN 3040
1	18920	45890	194.04	2.01			
2	18920	46820	197.97	2.05			
3	18920	49540	209.47	2.17	2.08	0.06	3.6
4	18920	48350	204.44	2.12			
5	18920	47150	199.37	2.06			

Desviación estándar de la media: 0.02

Intervalo de confianza al 99%: 2.15 MPa – 2.01 MPa

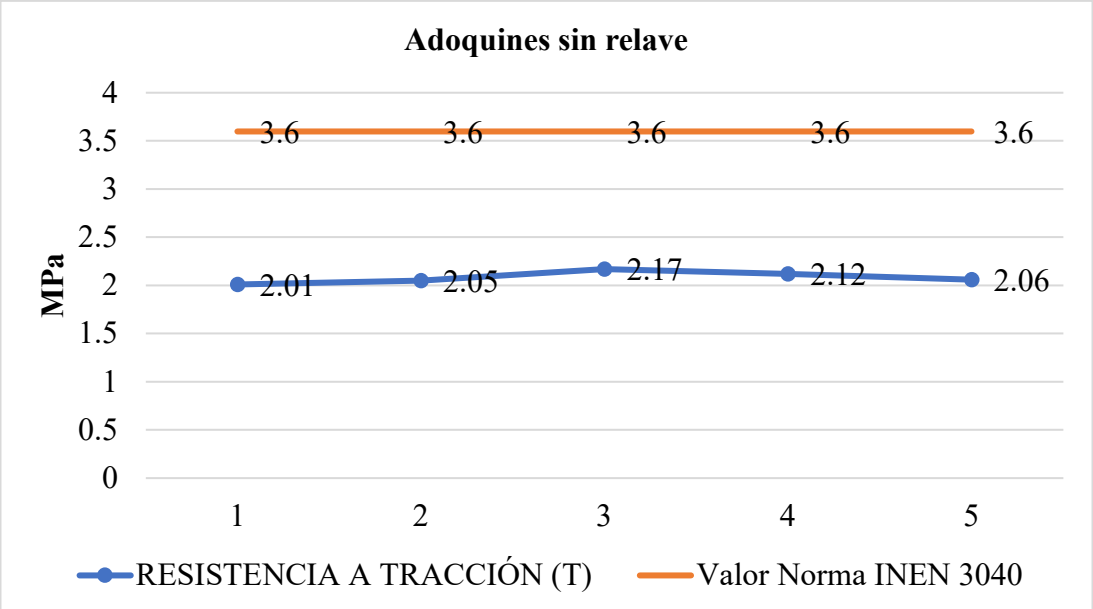


Figura 4.8. **Tracción Indirecta - Adoquines sin relave**

Del ensayo, la muestra 3 se encontraría fuera del intervalo de confianza por lo cual al ser solo una de su conjunto, la mezcla se considera muy homogénea.

Tabla 4.18.

Tracción Indirecta - Adoquines con relave al 25%

MUESTRA No.	ÁREA (A) mm2	CARGA (P) N	CARGA POR LONGITUD (F) N/mm	RESISTENCIA A TRACCIÓN (T) MPa	RESISTENCIA PROMEDIO MPa	(S) MPa.	Valor Norma INEN 3040
1	18920	23910	101.1	1.05	1.59		3.6
2	18920	40850	172.73	1.79	1.59		3.6
3	18920	34700	146.72	1.52	1.59		3.6
4	18920	41300	174.63	1.81	1.59		3.6
5	18920	38400	162.37	1.68	1.59	0.29	3.6
6	18920	44800	189.43	1.96	1.59		3.6
7	18920	30000	126.85	1.31	1.59		3.6
8	18920	40800	172.52	1.79	1.59		3.6
9	18920	32300	136.58	1.41	1.59		3.6

Desviación estándar de la media: 0.10

Intervalo de confianza al 99%: 1.84 MPa – 1.34 MPa

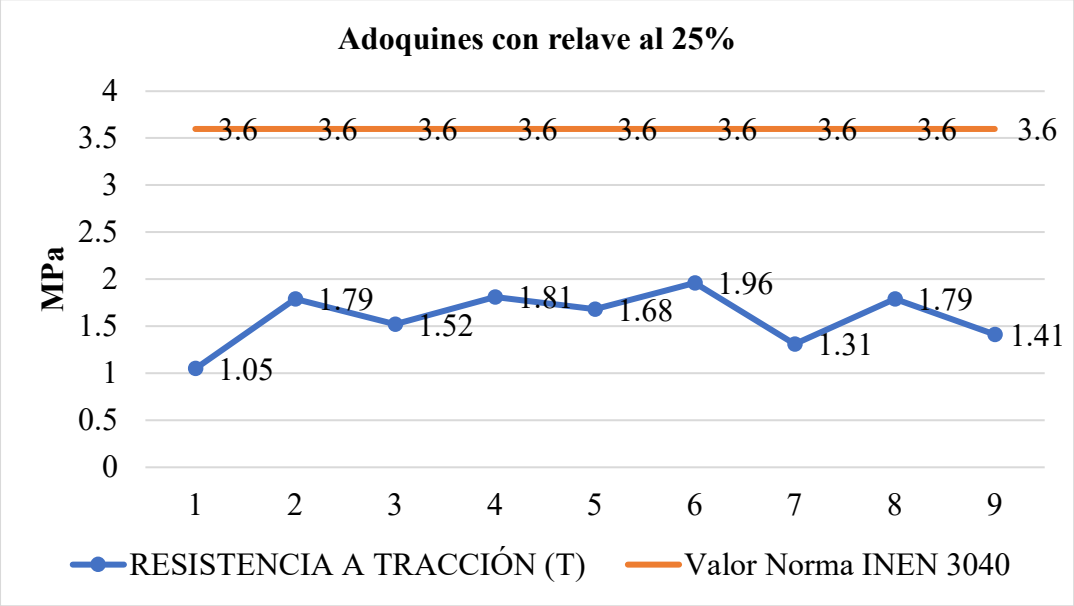


Figura 4.9. **Tracción Indirecta - Adoquines con relave al 25%**

Las muestras 1, 6 y 7 son valores atípicos producto de la una mezcla no homogénea de los materiales con el relave minero. Esto se evidencia en la aleatoriedad de los resultados; además, de una disminución de la resistencia promedio en relación al adoquín sin relave.

Tabla 4.19.

Tracción Indirecta - Adoquines con relave al 50%

Desviación estándar de la media: 0.16

Intervalo de confianza al 99%: 1.90 MPa – 1.07 MPa.

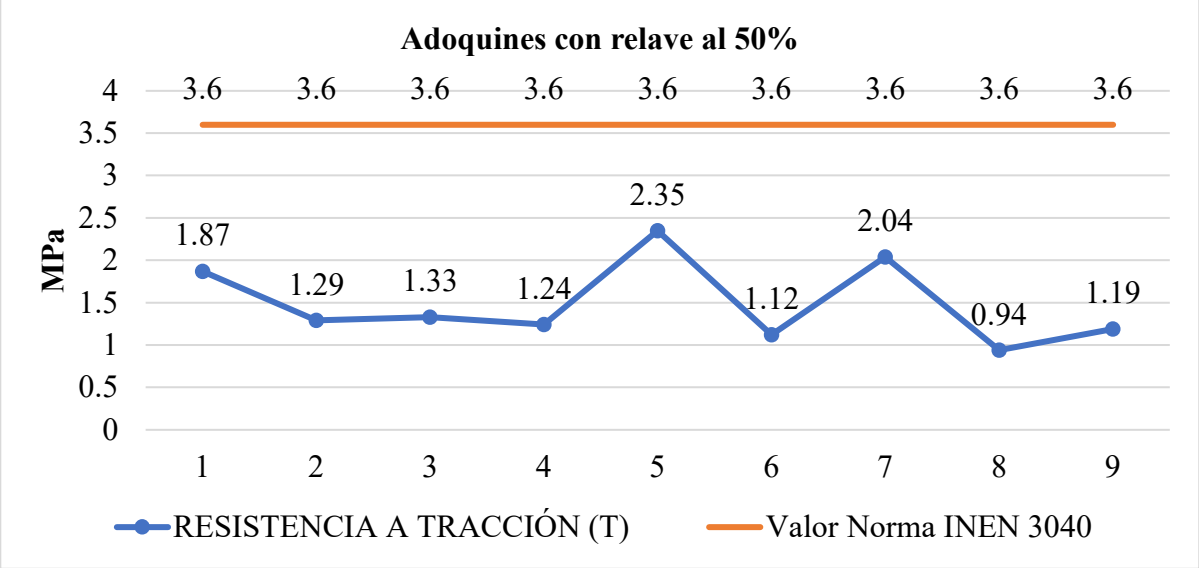


Figura 4.10. **Tracción Indirecta - Adoquines con relave al 25%**

MUESTRA No.	ÁREA (A) mm2	CARGA (P) N	CARGA POR LONGITUD (F) N/mm	RESISTENCIA A TRACCIÓN (T) MPa	RESISTENCIA PROMEDIO MPa	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S) MPa.	Valor Norma INEN 3040
1	18920	55600	235.1	1.87	1.49		3.6
2	18920	38400	162.37	1.29	1.49		3.6
3	18920	39400	166.6	1.33	1.49		3.6
4	18920	36900	156.03	1.24	1.49	0.48	3.6
5	18920	69700	294.71	2.35	1.49		3.6
6	18920	33200	140.38	1.12	1.49		3.6
7	18920	60500	255.81	2.04	1.49		3.6
8	18920	27800	117.55	0.94	1.49		3.6
9	18920	35300	149.26	1.19	1.49		3.6

Las muestras 5, 7 y 8 son valores atípicos producto de la una mezcla no homogénea de los materiales con el relave minero como es el caso de las muestras de los adoquines al

25%. Esto se evidencia en la aleatoriedad de los resultados; además, de una disminución de la resistencia promedio en relación con el adoquín sin relave y con relave al 25%.

4.2.2. Resistencia a la compresión

Para obtener la resistencia a la compresión se obtendrá mediante la fórmula de Adam, donde se toma en cuenta la resistencia a la tracción indirecta.

Tabla 4.20.

Compresión - Adoquines sin relave

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUÍN	ÁREA (A) mm2	RESISTENCIA LA TRACCIÓN MPa	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MPa	RESISTENCIA PROMEDIO MPa	VALOR NORMAL
1	Adoquín peatonal	1280	2.01	17.34		20
2	Adoquín peatonal	1280	2.05	17.86		20
3	Adoquín peatonal	1280	2.17	19.45	18.29	20
4	Adoquín peatonal	1280	2.12	18.79		20
5	Adoquín peatonal	1280	2.06	17.99		20

Desviación estándar de la media: 0.83

Intervalo de confianza al 99%: 19.25 MPa – 17.33 MPa

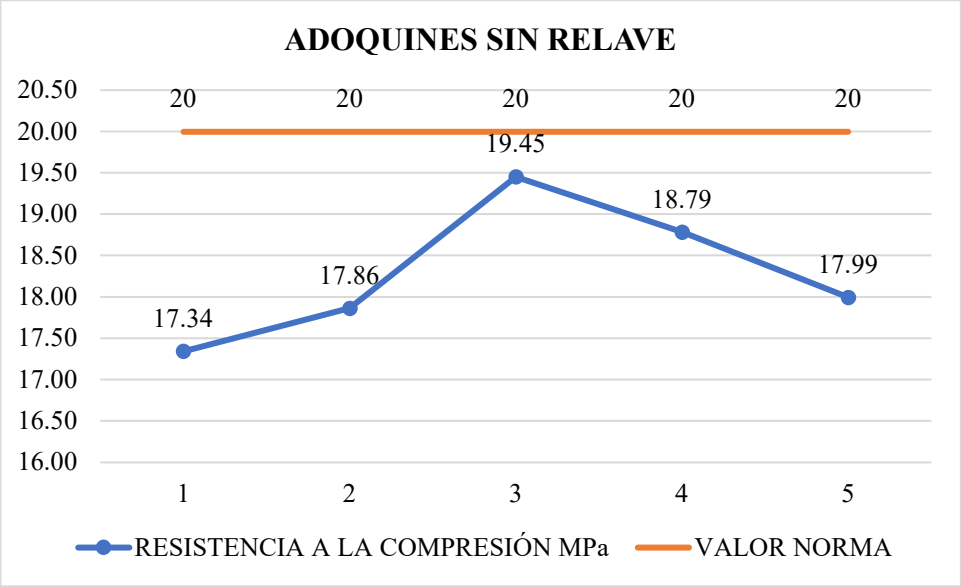


Figura 4.11. **Compresión - Adoquines sin relave**

La muestra 3 es un resultado atípico, sin embargo, el mismo no cumple con la especificación INEN para adoquín peatonal.

Tabla 4.21.

Compresión - Adoquines con relave al 25%

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUÍN	ÁREA (A) mm2	RESISTENCIA LA TRACCIÓN MPa	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MPa	RESISTENCIA PROMEDIO MPa	VALOR NORMA
1	Adoquín peatonal	1280	1.05	6.55	12.35	20
2	Adoquín peatonal	1280	1.79	14.57		20
3	Adoquín peatonal	1280	1.52	11.40		20
4	Adoquín peatonal	1280	1.81	14.82		20
5	Adoquín peatonal	1280	1.68	13.25		20
6	Adoquín peatonal	1280	1.96	16.70		20
7	Adoquín peatonal	1280	1.31	9.12		20
8	Adoquín peatonal	1280	1.79	14.57		20
9	Adoquín peatonal	1280	1.41	10.19		20

Desviación estándar: 3.27 MPa Desviación estándar de la media: 1.09Intervalo de confianza al 99%: 15.16 MPa – 9.55 MPa

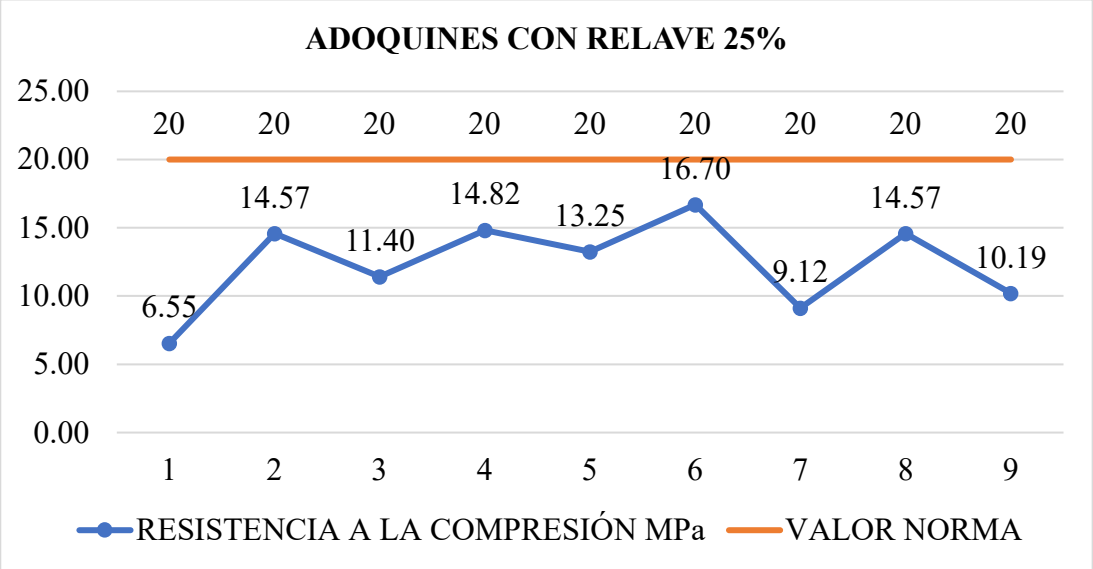


Figura 4.12. **Compresión - Adoquines con relave al 25%**

Las muestras 1, 6 y 7 son resultados atípicos, producto de una mezcla no homogénea de los agregados al mostrar los resultados dispersos.

Tabla 4.22.

Compresión - Adoquines con relave al 50%

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUÍN	ÁREA (A) mm2	RESISTENCIA LA TRACCIÓN MPa	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MPa	RESISTENCIA PROMEDIO MPa	VALOR NORMAL
1	Adoquín peatonal	1280	1.87	15.56	11.3	20
2	Adoquín peatonal	1280	1.29	8.92		20
3	Adoquín peatonal	1280	1.33	9.33		20
4	Adoquín peatonal	1280	1.24	8.40		20
5	Adoquín peatonal	1280	2.35	21.92		20
6	Adoquín peatonal	1280	1.12	7.21		20
7	Adoquín peatonal	1280	2.04	17.73		20
8	Adoquín peatonal	1280	0.94	5.55		20
9	Adoquín peatonal	1280	1.19	7.90		20

Desviación estándar: 5.61 MPa Desviación estándar de la media: 1.87

Intervalo de confianza al 99%: 6.57 MPa – 16.22 MPa

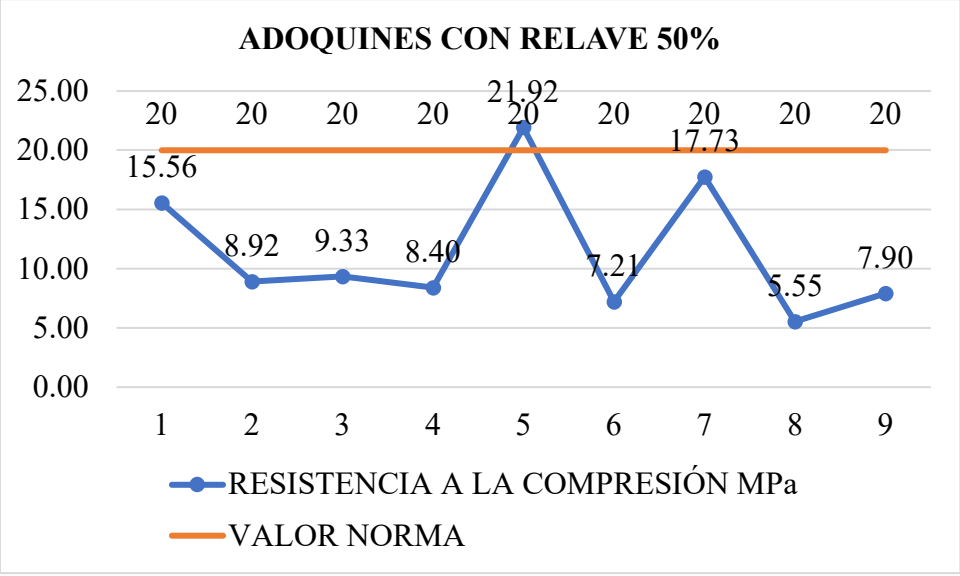


***Figura 4.13*. Compresión - Adoquines con relave al 50%**

Las muestras 5, 7 y 8 son resultados atípicos, producto de una mezcla no homogénea de los agregados al mostrar los resultados dispersos que no se acercan a la madia y se alejan mucho de ella.

4.2.3. Ensayo de absorción de adoquines

Los adoquines serán evaluados de acuerdo con el Anexo D de la norma INEN 3040 el cual tiene como objetivo determinar la resistencia climática.

Tabla 4.23.

Absorción - Adoquines sin relave

MUESTRA No.	MASA SECA gr	ABSORCIÓN DEL AGUA Wa (%)	Valor Norma INEN 3040	Promedio
1	3865.6	2.10	6.00 %	2.64%
2	3799.5	3.32		
3	3922.6	2.41		
4	3888.5	2.78		
5	3955.6	2.60		

Desviación estándar: 0.455 % Desviación estándar de la media: 0.20

Intervalo de confianza al 99%: 3.17 MPa – 2.12 MPa

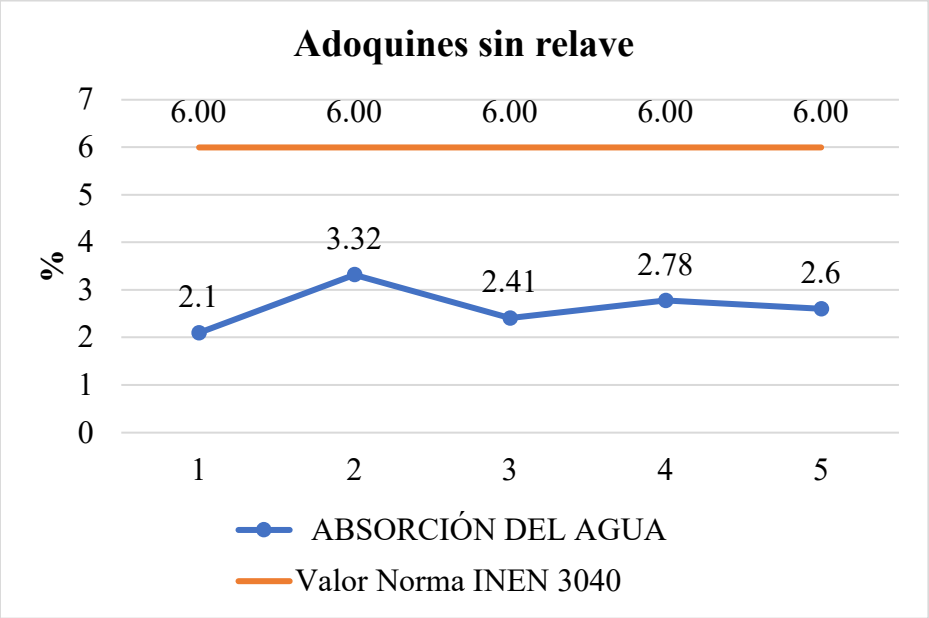


Figura 4.14. **Compresión - Adoquines sin relave**

Las muestras de los adoquines sin relave muestran dos resultados fuera del intervalo de confianza.

Tabla 4.24.

Absorción - Adoquines con relave al 25%

MUESTRA No.	MASA SECA gr	ABSORCIÓN DEL AGUA Wa (%)	Valor Norma INEN 3040	Promedio
1	4074.5	2.74	6.00%	2.74%
2	3742.6	2.75		
3	3839.7	2.73		
4	3869.5	2.74		
5	3976.2	2.75		
6	4046.8	2.72		
7	3775.4	2.75		
8	3842.7	2.73		
9	3951.2	2.75		

Desviación estándar: 0.011 % Desviación estándar de la media: 0.004

Intervalo de confianza al 99%: 2.75% – 2.73%

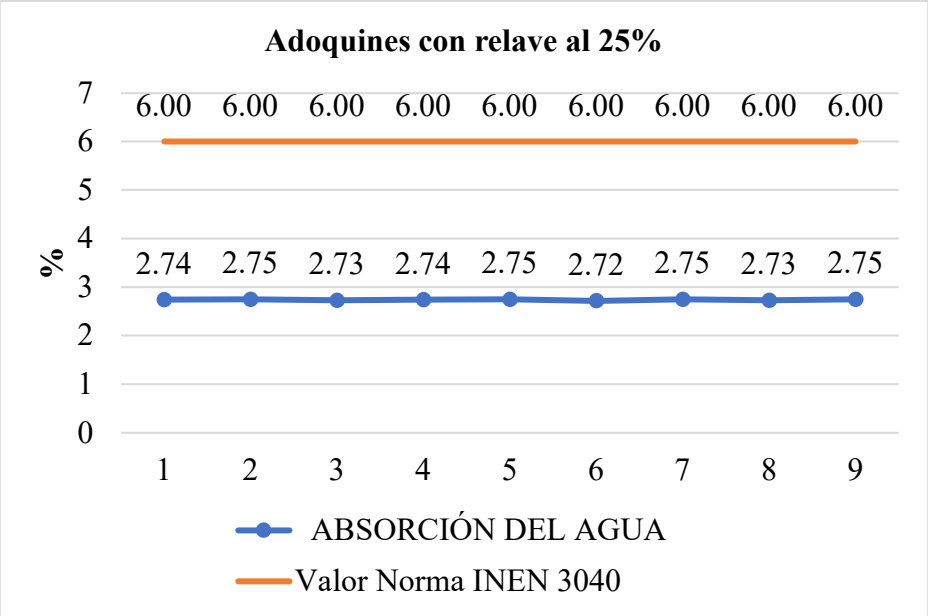


Figura 4.15. **Compresión - Adoquines con relave al 25%**

La muestra 6 es la única que presenta un resultado fuera del intervalo de confianza.

Tabla 4.25.

Absorción - Adoquines con relave al 50%

MUESTRA N°	MASA HUMEDA 1 gr	MASA SECA 2 gr	ABSORCIÓN DEL AGUA Wa (%)	Valor Norma INEN 3040	Promedio
1	3822.6	3702.5	3.24		
2	4100.5	3970.5	3.27		
3	3965.7	3841.6	3.23		
4	4123.8	3993.5	3.26	6.00	3.25
5	3894.6	3772.5	3.24		
6	4096.8	3968.2	3.24		
7	4159.7	4028.8	3.25		
8	3908.5	3785.5	3.25		
9	4122.6	3992.3	3.26		

Desviación estándar: 0.013 % Desviación estándar de la media: 0.004

Intervalo de confianza al 99%: 3.26% – 3.24%

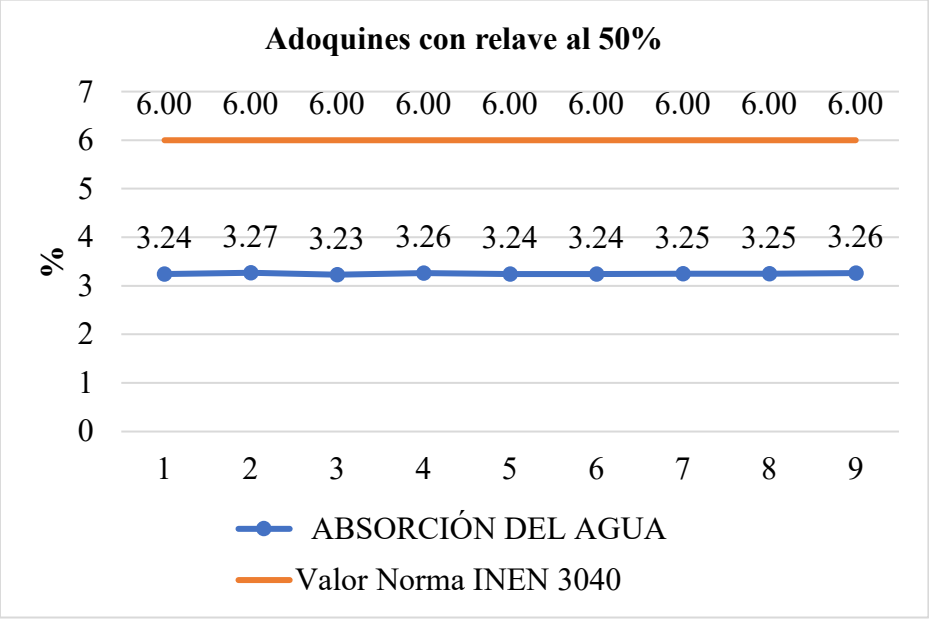


Figura 4.16. **Compresión - Adoquines con relave al 50%**

De los resultados se obtienen dos resultados fuera del intervalo de confianza, los cuales son las muestras 2 y 3.

4.2.4. Ensayo de abrasión de adoquines

Los adoquines serán evaluados de acuerdo con el Anexo F de la norma INEN 3040 el cual tiene como objetivo determinar la resistencia a la abrasión, el cual mide el desgaste.

Tabla 4.26.

Abrasión - Adoquines sin relave

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUIN	HUELLA (mm)	HUELLA PROMEDIO Hm	DESVIACIÓN ESTANDAR S	VALOR NORMA INEN 3040
1	Adoquín vehicular	25.32	25.00 mm	0.62 mm	23.00 mm
2	Adoquín vehicular	24.16			
3	Adoquín vehicular	25.12			

Desviación estándar: 0.062 % Desviación estándar de la media: 0.4

Intervalo de confianza al 99%: 25.8mm – 23.9mm

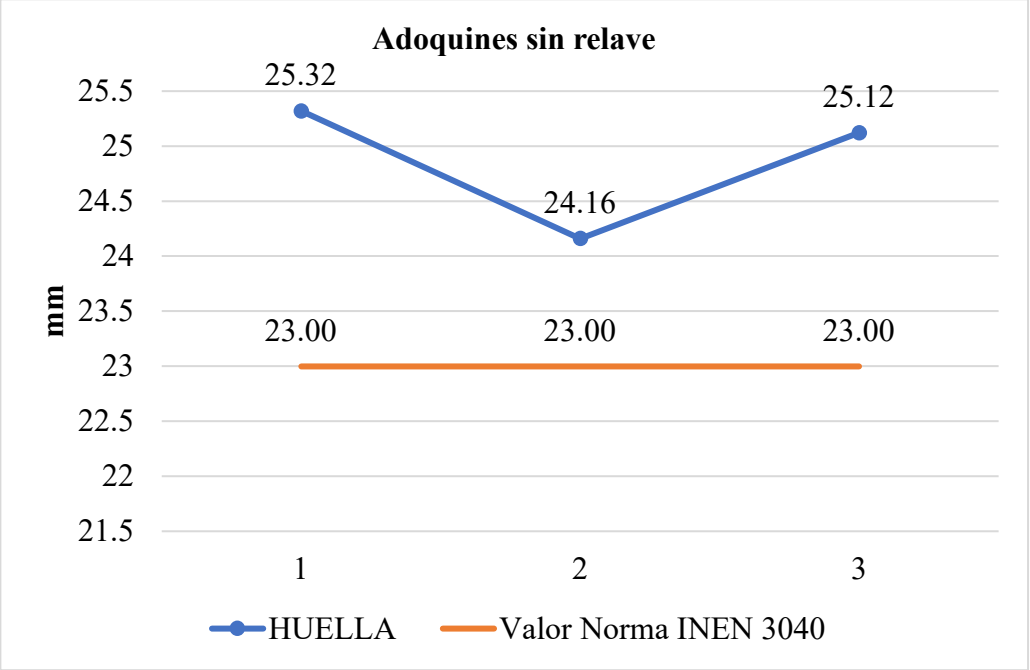


Figura 4.17. **Abrasión - Adoquines sin relave**

Tabla 4.27.

Abrasión - Adoquines con relave al 25%

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUIN	HUELLA (mm)	HUELLA PROMEDIO Hm	DESVIACIÓN ESTANDAR S	VALOR NORMA INEN 3040
1	Adoquín vehicular	26.32	26.00 mm	2.46 mm	23.00 mm
2	Adoquín vehicular	29.83			
3	Adoquín vehicular	22.93			
4	Adoquín vehicular	23.81			
5	Adoquín vehicular	25.02			
6	Adoquín vehicular	26.73			

Desviación estándar: 2.46 mm Desviación estándar de la media: 1.0

Intervalo de confianza al 99%: 28.4 mm – 23.2 mm

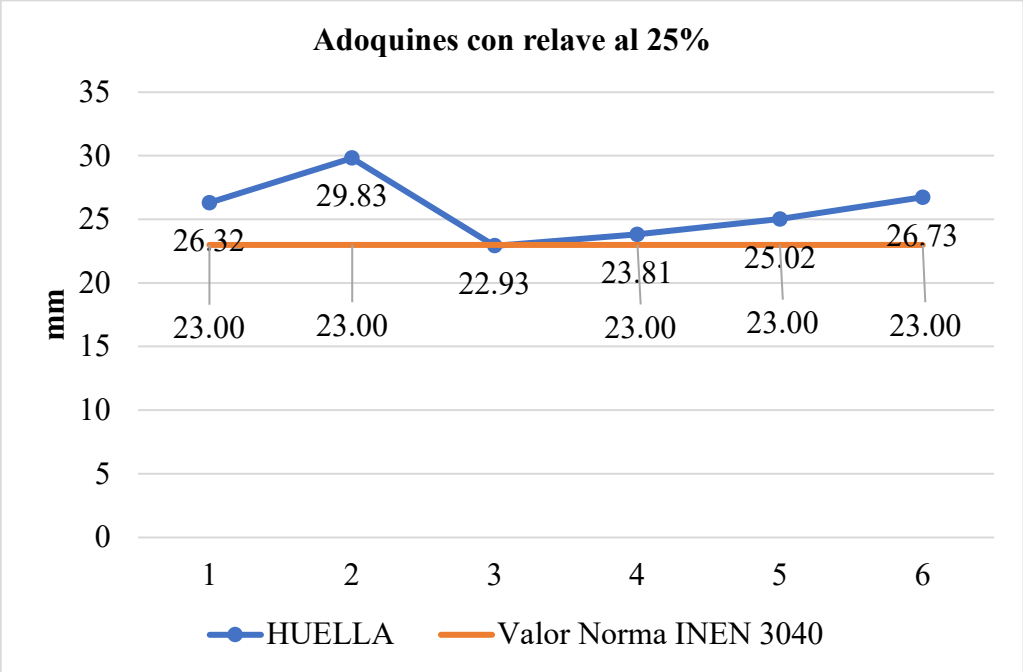


***Figura 4.18*. Abrasión - Adoquines con relave al 25%**

De los resultados se obtienen dos resultados fuera del intervalo de confianza, los cuales son las muestras 2 y 3.

Tabla 4.28.

Abrasión - Adoquines con relave al 50%

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUIN	HUELLA (mm)	HUELLA PROMEDIO Hm	DESVIACIÓN ESTANDAR S	VALOR NORMA INEN 3040
1	Adoquín vehicular	30.65	30.00 mm	4.65 mm	23.00 mm
2	Adoquín vehicular	28.45			
3	Adoquín vehicular	30.49			
4	Adoquín vehicular	36.2			
5	Adoquín vehicular	31.72			
6	Adoquín vehicular	22.01			

Desviación estándar: 4.65 mm Desviación estándar de la media: 1.9

Intervalo de confianza al 99%: 34.8 mm – 25.0 mm

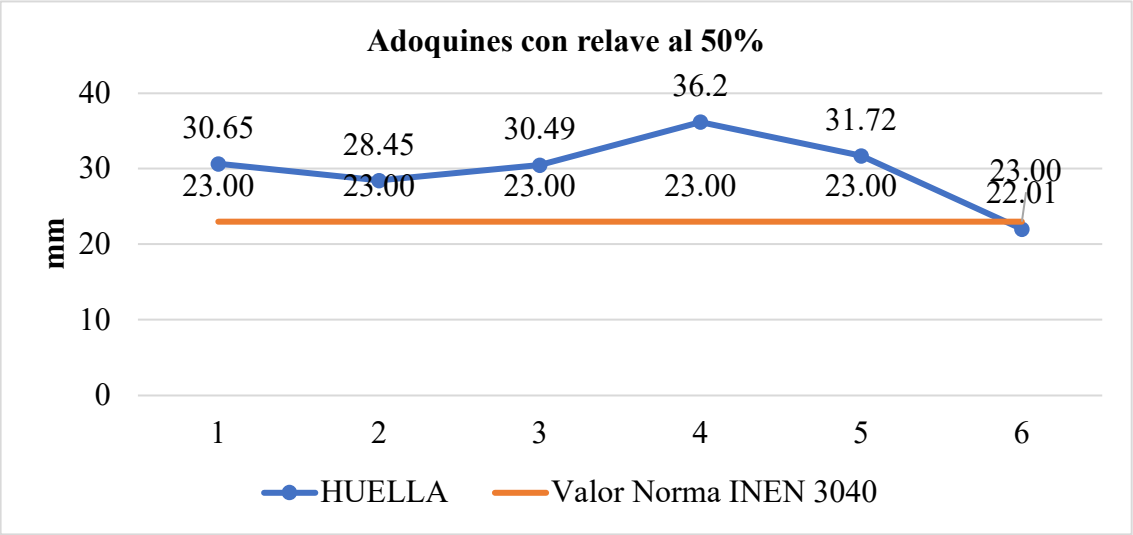


Figura 4.19. **Abrasión - Adoquines con relave al 50%**

De los resultados se obtienen dos resultados fuera del intervalo de confianza, los cuales son las muestras 4 y 6 uno por encima del límite superior y otro por debajo.

4.2.5. Ensayo de resistencia al deslizamiento de adoquines

Los adoquines serán evaluados de acuerdo con el Anexo G de la norma INEN 3040 el cual tiene como objetivo determinar la resistencia al deslizamiento utilizando el péndulo de fricción.

Tabla 4.29.

Resistencia al deslizamiento - Adoquines sin relave

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUÍN	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Rd	PROMEDIO RD	PROMEDIOTOTAL	CLASIFICACIÓNTIPO
1	ADOQUÍN VEHICULAR	58 61 57 62 58	59.20	57.60	RUGOSO
2	ADOQUÍN VEHICULAR	57 55 57 64 60	58.60		
3	ADOQUÍN VEHICULAR	57 54 56 51 57	55.00		

Desviación estándar: 2.27 Rd Desviación estándar de la media: 1.31

Intervalo de confianza al 99%: 60.98 Rd – 54.22 Rd.

Límites para adoquines de **Regular a Bueno**: 51 – 60 Rd

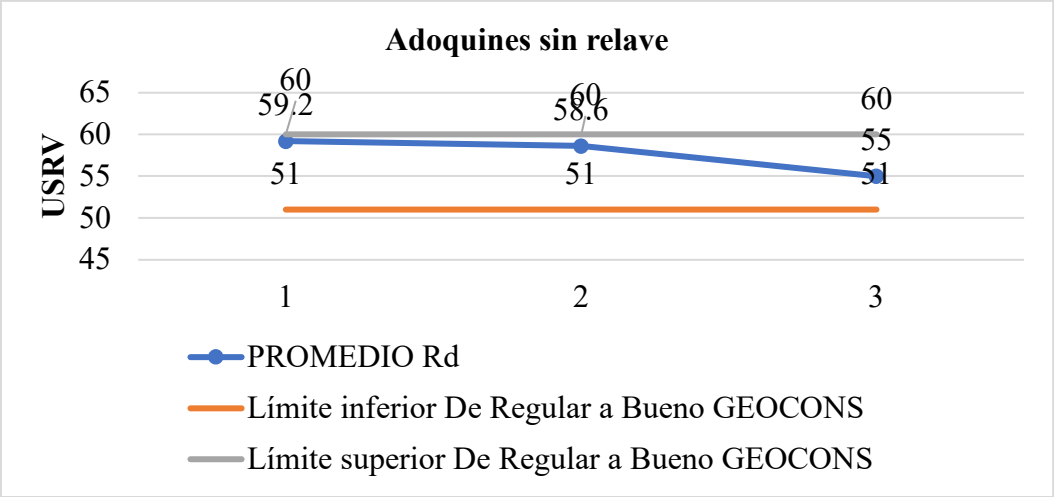


Figura 4.20. **Resistencia al deslizamiento - Adoquines sin relave**

Tabla 4.30.

Resistencia al deslizamiento - Adoquines con relave al 25%

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUÍN	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Rd	PROMEDIO Rd	PROMEDIO TOTAL	CLASIFICACIÓN TIPO
1	ADOQUÍN VEHICULAR	66 66 66 64 66	65.6	67.5	RUGOSO
2	ADOQUÍN VEHICULAR	64 66 60 60 60	62.0		
3	ADOQUÍN VEHICULAR	69 66 66 64 64	65.8		
4	ADOQUÍN VEHICULAR	70 72 69 69 68	69.6		
5	ADOQUÍN VEHICULAR	70 67 67 70 65	67.8		
6	ADOQUÍN VEHICULAR	66 64 64 62 65	74.2		

Desviación estándar: 4.15 Rd Desviación estándar de la media: 1.69

Intervalo de confianza al 99%: 71.87 Rd – 63.13Rd.

Límites para adoquines **Bueno**: 61 – 80 Rd

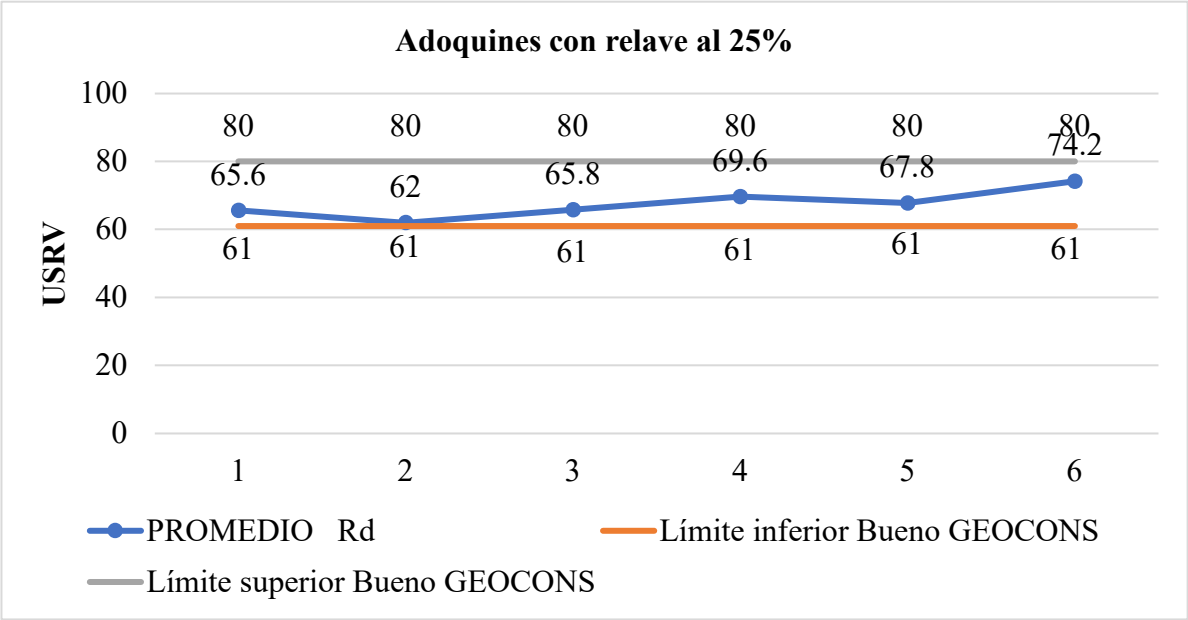


Figura 4.21. **Resistencia al deslizamiento - Adoquines con relave al 25%**

De los resultados se obtienen dos resultados fuera del intervalo de confianza, los cuales son las muestras 2 y 6 uno por encima del límite superior y otro por debajo.

Tabla 4.31.

Resistencia al deslizamiento - Adoquines con relave al 50%

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUÍN	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Rd	PROMEDIO Rd	PROMEDIO TOTAL	CLASIFICACIÓN TIPO
1	ADOQUÍN VEHICULAR	70 64 66 66 62	65.60	64.70	RUGOSO
2	ADOQUÍN VEHICULAR	64 60 62 64 64	62.80		
3	ADOQUÍN VEHICULAR	66 66 66 66 66	66.00		
4	ADOQUÍN VEHICULAR	68 67 66 66 66	66.60		

5	ADOQUÍN VEHICULAR	65 65 64 63 63	64.00
6	ADOQUÍN VEHICULAR	64 63 63 63 63	63.20

Desviación estándar: 1.58 Rd Desviación estándar de la media: 0.64

Intervalo de confianza al 99%: 66.36 Rd – 63.04Rd.

Límites para adoquines **Bueno**: 61 – 80 Rd

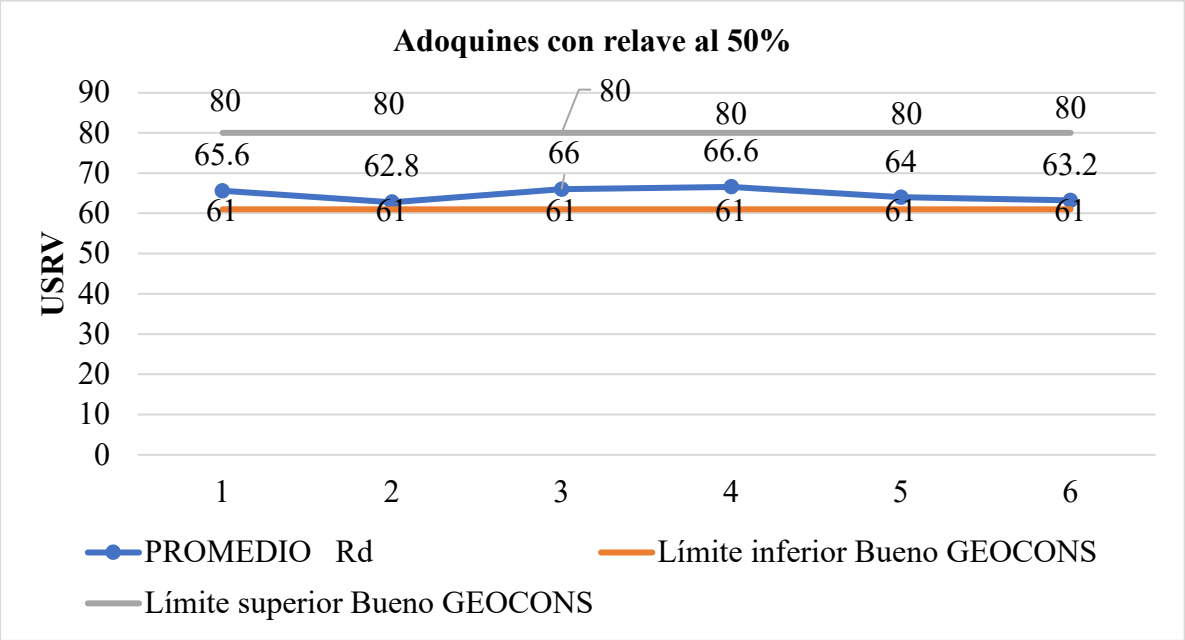


***Figura 4.22*. Resistencia al deslizamiento - Adoquines con relave al 50%**

De los resultados se obtienen dos resultados fuera del intervalo de confianza, los cuales son las muestras 2 y 4 uno por encima del límite superior y otro por debajo.

Los resultados y comparación entre las muestras y la norma INEN 3040 se encuentran descrito en la sección 6.

5. VENTAJAS DEL USO DE RELAVES

Los adoquines pueden ser usados en vías, aceras, estacionamientos, garajes, senderos, etc. En la presente investigación se estudia el uso de los adoquines en vías, es por ello del uso de la norma INEN 3040 y la Norma INEN 3066.

5.1. Ventajas Sociales

De conformidad con el documento acerca del Programa De Apoyo Al Desarrollo Vial del 2012, la red vial provincial del Ecuador cuenta con los siguientes tipos de superficie:

Tabla 5.1.

Tipos de Superficie de la red vial provincial del Ecuador

SUPERFICIE	KM	%
Empedrado	6.706.10	54.64
Tierra mejorada	1.850.86	15.08
Tierra simple	891.40	7.26
DTSB	874.04	7.12
TSB	238.91	1.95
Base	883.89	7.20
Asfaltado	826.59	6.73
Hormigón	2.02	0.02
TOTAL	12,273.81	100.00

Fuente: (MTOP, 2012)

De acuerdo con la tabla del Ministerio de Trasporte y Obras Públicas existe más del 54.64 % de la red vías que se encuentra empedrada, 15.08 % de tierra mejorada y 7.26 % de tierra simple; lo cual demuestra que el 76.98 % de la red vial no cuenta con estructura de pavimento flexible, rígido ni semirrígido.

En el mismo documento podemos encontrar la situación actual en la red cantonal:

Tabla 5.2.

Tipo de superficie de la red cantonal

SUPERFICIE	KM	%
Empedrado	12.420,10	55.27
Tierra mejorada	3.728,88	16.59
Tierra simple	5.194,27	23.12
DTSB	149,55	0.67
TSB	136,57	0.61
Base	365,95	1.63
Asfaltado	475,13	2.11
Hormigón	0.00	0.00
TOTAL	22,470.45	100.00

Fuente: (MTOP, 2012)

Con los datos presentados, se puede aprovechar el uso de los adoquines con relave minero ya sea en vías secundarias y peatonales, lo que ayudaría a mejorar la vialidad del cantón, así como generar fuentes de trabajo tanto de mano de obra calificada como no calificada. Esto adoquines aprovecharían el relave minero para disminuir el área de relaveras y de esa manera ser amigables con el medio ambiente.

5.2. Ventajas Ambientales

De acuerdo con una investigación realizada por la Universidad de Piura para el diseño de una planta productora de adoquines, se proyecta una curva de demanda para el Ecuador como la siguiente gráfica:

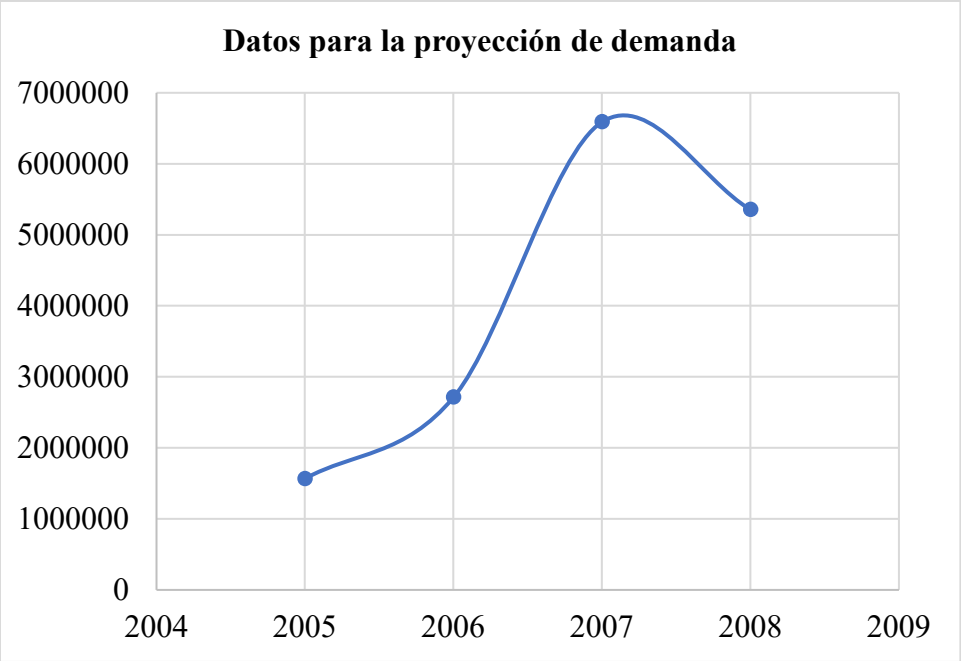


Figura 5.1. Proyección de la Demanda de adoquines en Ecuador

Fuente: (Pabón Torres, 2011)

De acuerdo con el gráfico, en el año 2007 podemos observar un aumento mayor que los años pasados y en el año 2008 se ve un descenso del mismo en la demanda de los adoquines.

Tabla 5.3.

Datos para la proyección de demanda

Año	Datos para la proyección de demanda
2005	1569000
2006	2715430
2007	6592593
2008	5356908

Fuente: (Pabón Torres, 2011)

De la figura 5.1. obtenemos los datos para la proyección hacia años futuros. En el mismo estudio se evidencia una proyección hasta el año 2014, que se detalla a continuación:

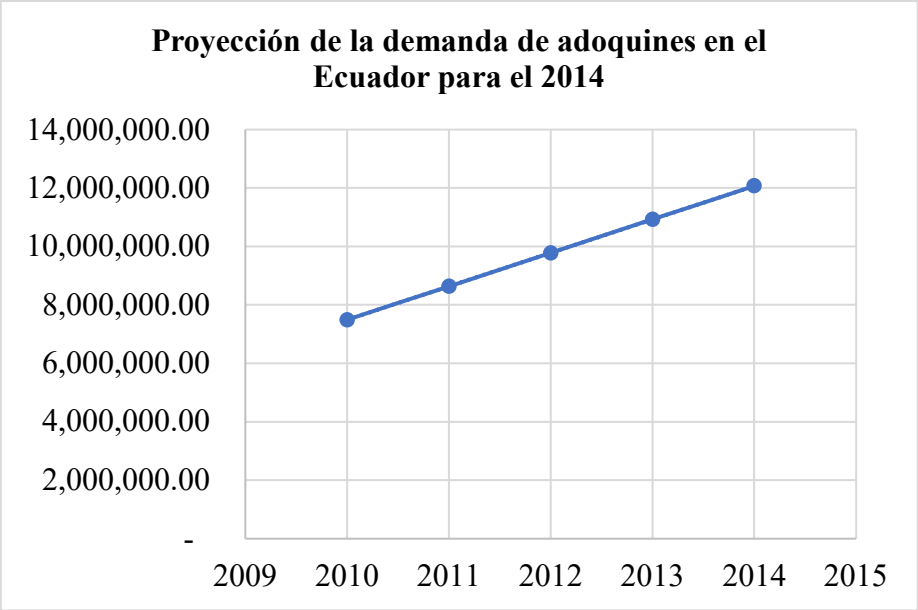


Figura 5.2. **Proyección de la Demanda de adoquines en Ecuador hasta el 2014**

Fuente: Torres (2011)

La proyección en la gráfica es planteada hasta el año 2014, donde se evidencia que la demanda va en aumento en años posteriores al 2008.

Tabla 5.4.

Datos de la proyección de demanda hasta el 2014

Año	Datos de la proyección de demanda
2010	7494376
2011	8639674
2012	9784972
2013	10930270
2014	12075568

Fuente: (Pabón Torres, 2011)

Sin embargo, de acuerdo con un estudio más actual realizado por la Universidad Nacional de Chimborazo en el año 2020 se encontró que la demanda es de 6579000 adoquines (3264000 peatonales y 3315000 vehiculares) (Ortega, Pérez, Vallejo, & Veloz, 2020) y se actualiza la tabla anterior:

Tabla 5.5.

Datos para la proyección de demanda actualización 2020

Año	Datos para la proyección de demanda
2005	1569000
2006	2715430
2007	6592593
2008	5356908
2020	6579000

Fuente: (Pabón Torres, 2011)

Con la función de tendencia de Excel, un software informático, se obtiene la curva de tendencia que está definida por la siguiente expresión: y = 231047.94x - 459658940.82.

Dónde:

y= Cantidad de adoquines.

x= Año

La cual es una curva ascendente. Obteniendo el siguiente gráfico se presenta la siguiente gráfica con una proyección hasta el 2030:

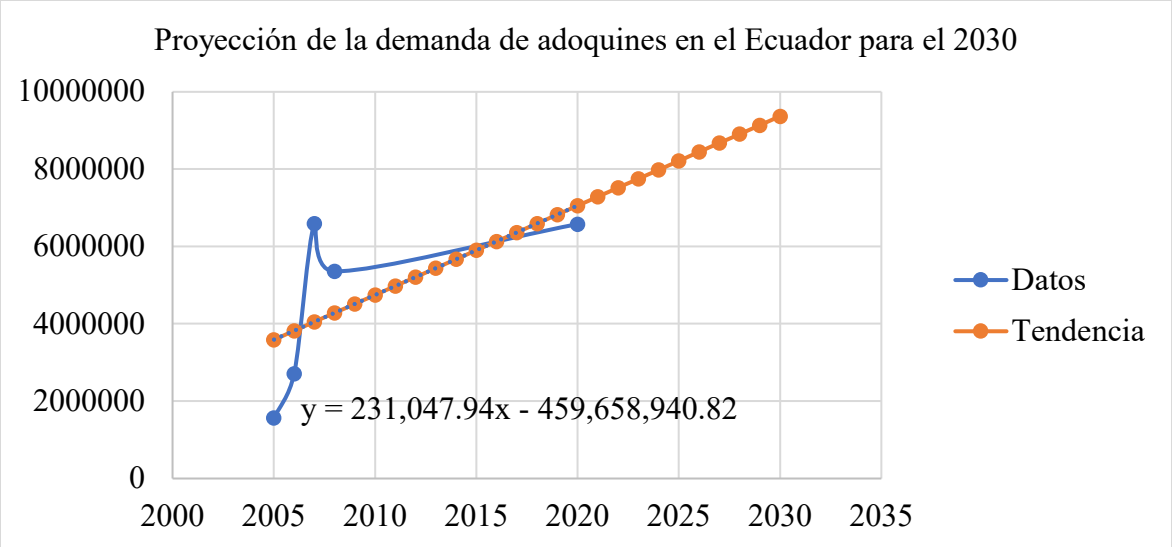


Figura 5.3. Proyección de la Demanda de adoquines en Ecuador

La tendencia con datos actualizados al año 2020 muestra un aumento es la demanda. Sin embargo, esta demanda no tiene una tendencia muy creciente como la demanda comprendida entre los años 2005 y 2007.

Tabla 5.6.

Datos de Proyección hasta el 2030

Año	Proyección de la demanda
2015	5902658
2016	6133706
2017	6364754
2018	6595802
2019	6826850
2020	7057898
2021	7288946
2022	7519994
2023	7751042
2024	7982090
2025	8213138
2026	8444186
2027	8675234
2028	8906282
2029	9137329
2030	9368377

Lo cual muestra una amplia demanda de adoquines a nivel nacional de 7519994 unidades de adoquines para el presente año y creciente en los años futuros.

En la provincia de Zamora Chinchipe se realizan dos proyectos de minería a gran escala como son: Fruta del norte y Mirador.

Las áreas de relaves se detallan a continuación:

- El proyecto Fruta del Norte cuenta con un área de los relaves de 55.1 ha y la piscina de sedimentación 2.8 ha. (Cardno, 2018)

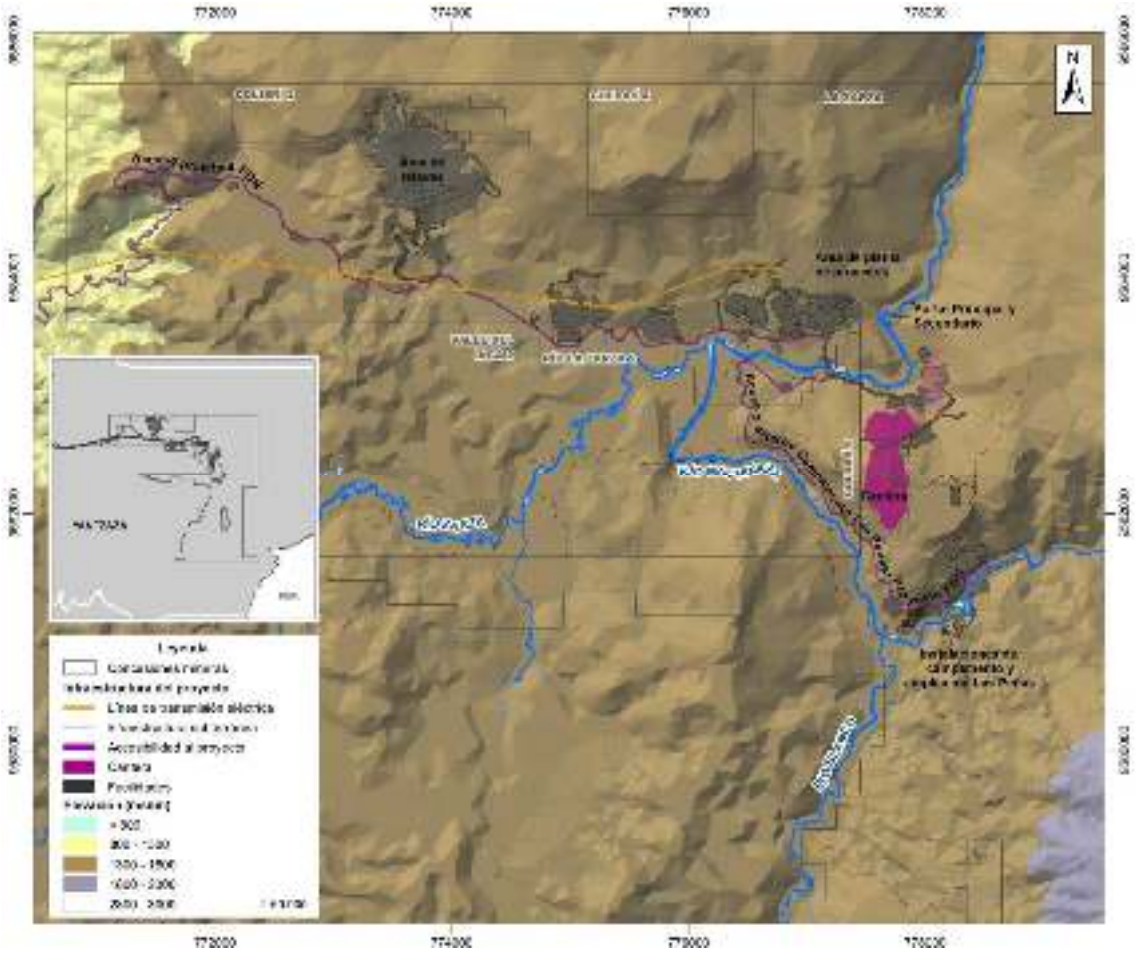


Figura 5.4. **Detalle del Esquema del Proyecto Propuesto (Área de Mina y Cantera)**

Elaboración: Cardno. Enero, 2018

- El proyecto Mirador cuenta con un depósito de Relaves 1 de 56,6 ha y depósito de Relaves 2 con un área de 312,0 ha.

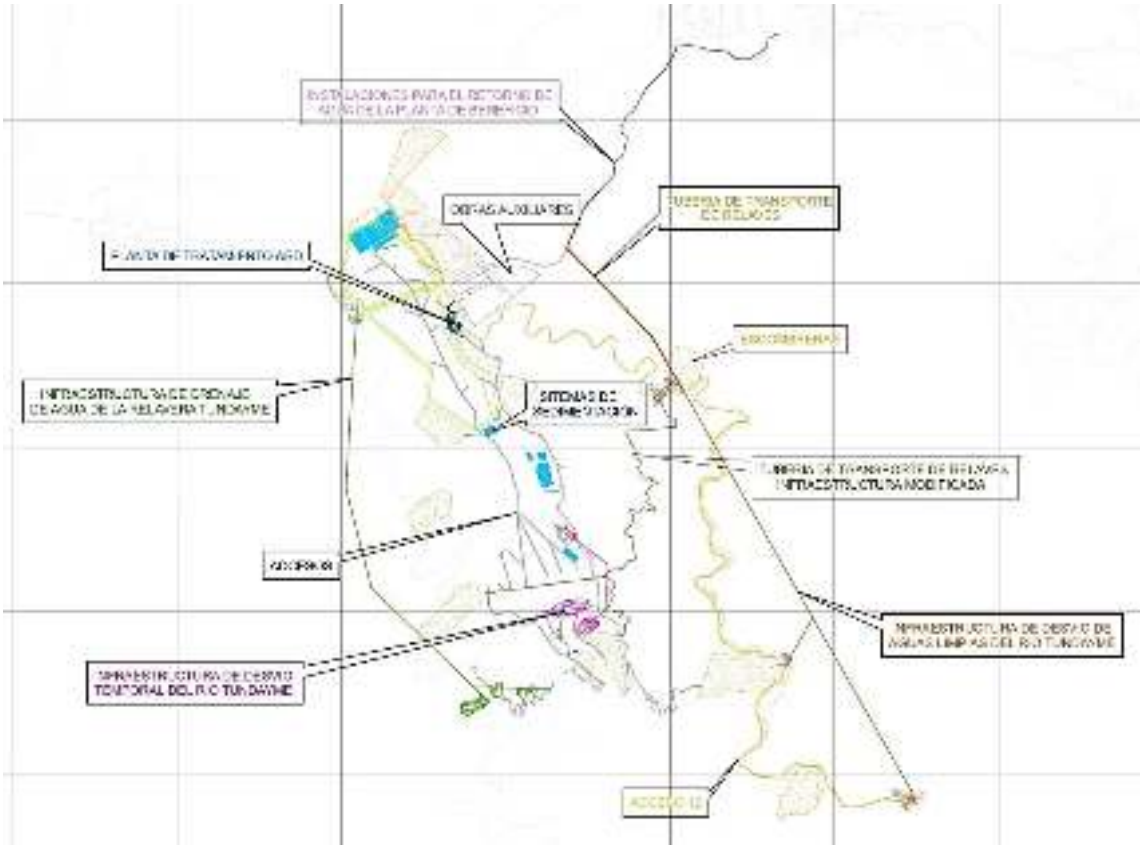


Figura 5.5. Estructuras asociadas a las modificaciones e infraestructuras nuevas

Fuente: ECSA, 2019.

En total suma 368.6 ha.

Por lo cual, al hacer uso del relave en adoquines ayudamos a disminuir el área usada para colocación de estos residuos conocida como relavera y de esa manera conservar las áreas verdes evitando deforestación innecesaria. Esta solución forma parte de la técnica de reciclaje de relaves diferente al depósito. Corresponde al Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables el monitoreo y designación a cargo de las relaveras, las cuales deben estar acorde al "Instructivo para la Aprobación de Proyectos de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de Depósitos de Relaves para la Mediana y Gran Minería". (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2020)

Fundamentado en el Reglamento Ambiental De Actividades Mineras del Ministerio Ambiente en el Art. 116 se hace relación que se debe "incluir técnicas de reciclaje de relaves tales como relleno hidráulico de bóvedas subterráneas, y para el efecto se lo hará

con relaves que una vez caracterizados se demuestre su no afectación a las aguas existentes.” (Ministerio de Ambiente, 2018)

Finalmente, la reutilización de relaves en adoquines puede ser usado como Plan de Manejo Ambiental de empresas dedicadas a la minería y que ayudarían a los pueblos rurales y urbanos cercanos a la zona de influencia minera.

6. RESULTADOS

En el presenta capitulo se presentarán los resultados compilados de los diferentes ensayos realizados de acuerdo con la norma INEN 3040 e INEN 1488

6.1. Ensayo de tracción indirecta de adoquines

A continuación, se presentarán los resultados de laboratorio que estén dentro del intervalo de confianza al 99%.

Tabla 6.1.

Resultados tracción indirecta de adoquines

Nº	Adoquín Sin Relave	Adoquines con 25% de relave	Adoquines con 50% de relave	Norma INEN 3040
1	2.01	1.79	1.87	3.6
2	2.05	1.52	1.29	3.6
3	2.12	1.81	1.33	3.6
4	2.06	1.68	1.24	3.6
5		1.79	1.12	3.6
6		1.41	1.19	3.6

Los adoquines no cumplen con la Norma INEN 3040.

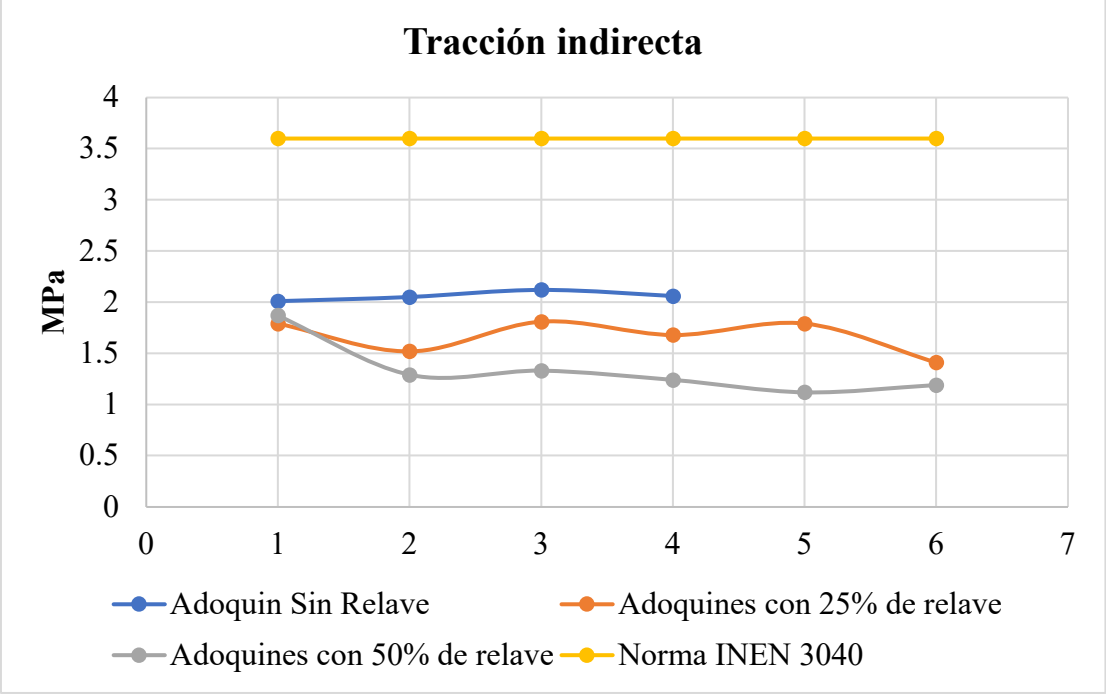


Figura 6.1. **Resultados tracción indirecta de adoquines**

El gráfico presenta que todos los adoquines con relave y sin relave se encuentran por debajo de la norma INEN 3040. Mostrando una disminución mayor de resistencia en los adoquines con un mayor porcentaje de relave.

6.2. Ensayo de absorción de adoquines

Tabla 6.2.

Resultados absorción de adoquines

Nº	Adoquín Sin Relave	Adoquines con 25% de relave	Adoquines con 50% de relave	Norma INEN 3040
1	2.41	2.74	3.24	6.00
2	2.78	2.75	3.26	6.00
3	2.6	2.73	3.24	6.00
4		2.74	3.24	6.00
5		2.75	3.25	6.00
6		2.75	3.25	6.00
7		2.73	3.26	6.00
8		2.75		6.00

Los adoquines cumplen con la Norma INEN 3040.

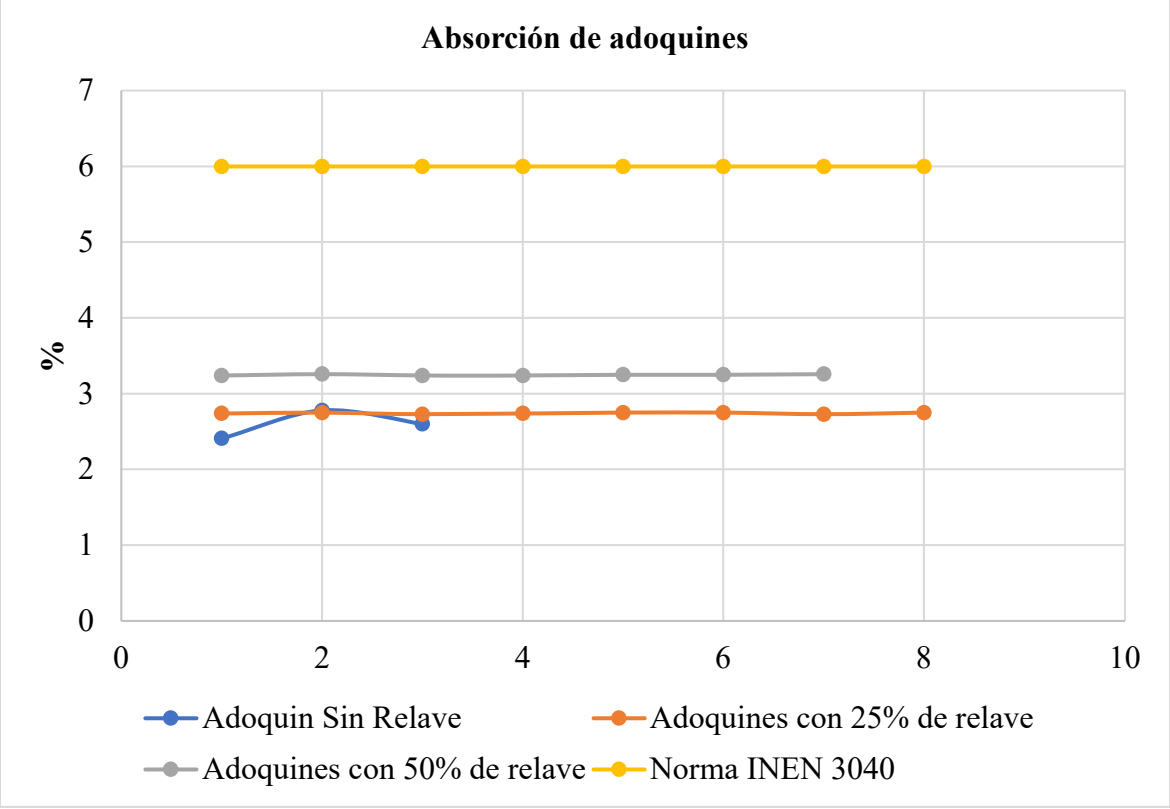


Figura 6.2. **Resultados absorción de adoquines**

El gráfico muestra que todos los adoquines con relave y sin relave se encuentran por debajo de la norma INEN 3040, lo cual muestra que el porcentaje de absorción aumenta en adoquines con mayor contenido de relave.

6.3. Ensayo de abrasión de adoquines

Tabla 6.3.

Resultados abrasión de adoquines

Nº	Adoquín Sin Relave	Adoquines con 25% de relave	Adoquines con 50% de relave	Norma INEN 3040
1	25.32	26.32	30.65	23.00
2	24.16	23.81	28.45	23.00
3	25.12	25.02	30.49	23.00
4		26.73	31.72	23.00

Los adoquines no cumplen con la Norma INEN 3040.

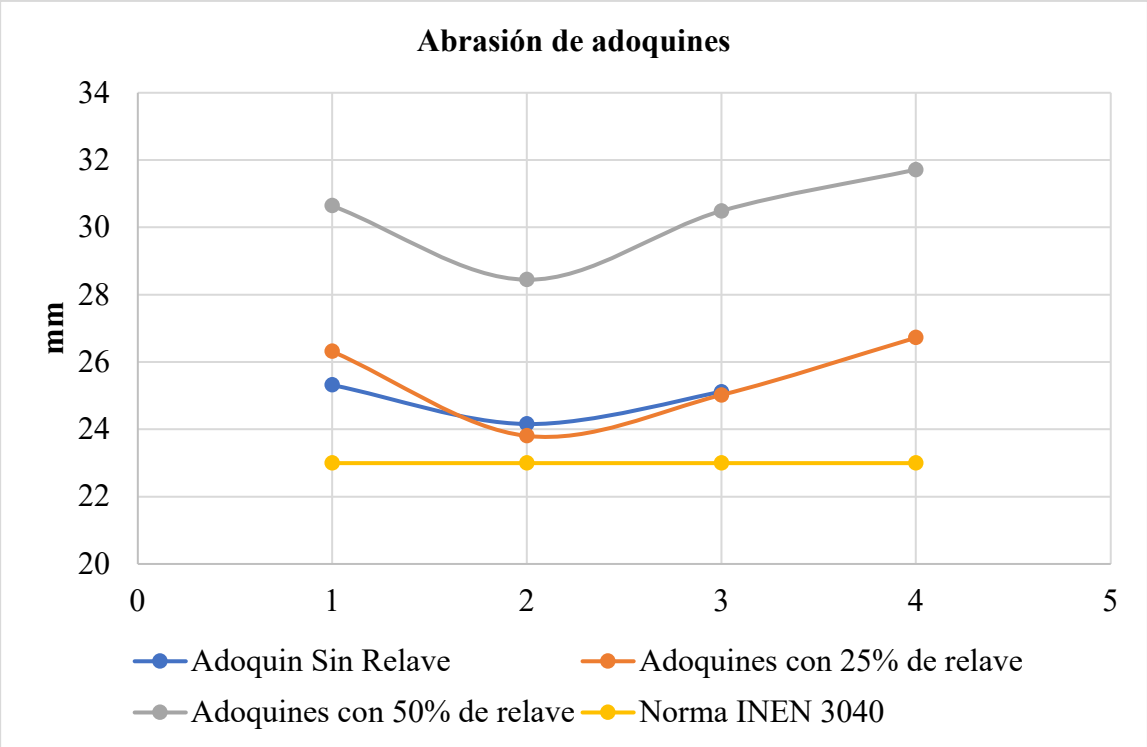


Figura 6.3. **Resultados abrasión de adoquines**

El gráfico muestra que todos los adoquines con relave y sin relave se encuentran por encima de la norma INEN 3040, lo cual muestra mayor desgaste por abrasión en adoquines con mayor porcentaje de relave.

6.4. Ensayo de resistencia al deslizamiento de adoquines

Tabla 6.4.

Resultados resistencia al deslizamiento de adoquines

Nº	Adoquín Sin Relave	Adoquines con 25% de relave	Adoquines con 50% de relave	Límite superior Bueno GEOCONS	Límite inferior Bueno GEOCONS
1	59.2	65.6	65.6	61.00	80.00
2	58.6	65.8	66	61.00	80.00
3	55	69.6	64	61.00	80.00
4		67.8	63.2	61.00	80.00

Los adoquines con relave minero cumplen con los límites GEOCONS. Los adoquines sin relave no cumplen con los límites GEOCONS

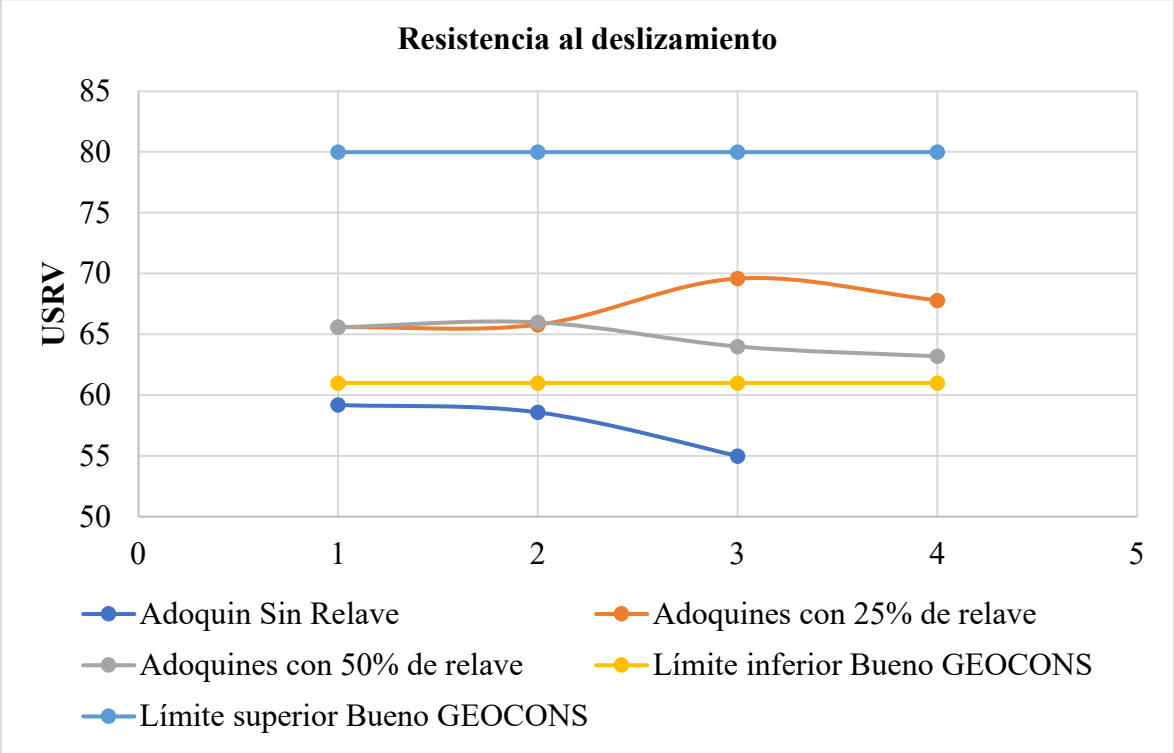


Figura 6.4. **Resultados resistencia al deslizamiento de adoquines**

El gráfico muestra que todos los adoquines con relave se encuentran entre los límites propuesto por GEOCONS para un adoquín bueno, lo cual muestra que los adoquines con relave mejoran el USRV.

6.5. Ensayo de compresión de adoquines

Tabla 6.5

Resultados compresión de adoquines

Nº	Adoquín Sin Relave	Adoquines con 25% de relave	Adoquines con 50% de relave	Norma INEN 1488
1	17.34	14.57	15.56	20.00
2	17.86	11.40	8.92	20.00
3	18.79	14.82	9.33	20.00
4	17.99	13.25	8.40	20.00
5		14.57	7.21	20.00
6		10.19	7.90	20.00

Los adoquines con relave minero NO CUMPLEN con la norma INEN 1488.

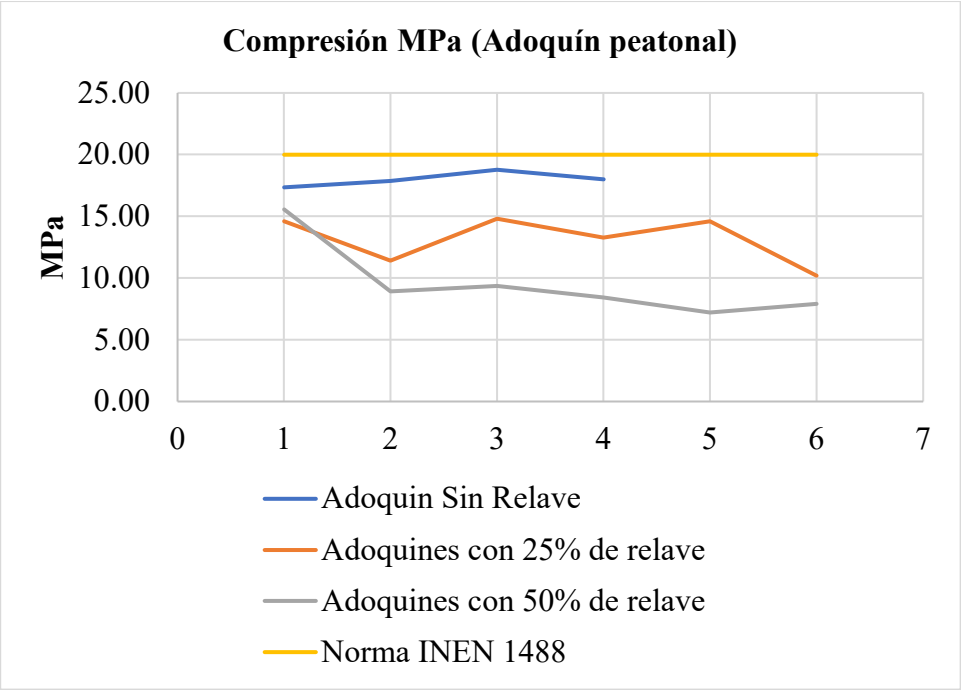


Figura 6.5. **Resultados compresión de adoquines**

El gráfico muestra que todos los adoquines con relave y sin relave se encuentran por debajo de la norma INEN 1488. Mostrando una disminución mayor de resistencia a la compresión en los adoquines con un mayor porcentaje de relave.

6.6. Resumen de Resultados

Tabla 6.6.

Resumen de resultados de ensayos

Ensayo	Cumple / No cumple Adoquín vehicular	Norma
Tracción indirecta	No cumple	INEN 3040
Absorción	Cumple	INEN 3040
Abrasión	No cumple	INEN 3040
Deslizamiento	Cumple	Límites GEOCONS

El resumen de resultados es tanto para adoquines sin relave como para adoquines con relave minero

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Los ensayos realizados, de acuerdo con la normativa INEN 3040, a los prototipos al 25% y 50% de relave minero cumplieron con 2 de los 4 parámetros establecidos para considerarlos aptos para su uso en vías, sin embargo, no podemos asegurar esos porcentajes como dosificación óptima.
- Al realizar el ensayo correspondiente a la caracterización granulométrica de los agregados finos se tiene que en el caso del relave minero el 89% corresponde al material fino y el 11% a arenas mientras que en el caso de la arena solo el 2% pasa el tamiz N° 200 por lo que se tiene el 98% de arena. Es por esa razón que en la realización de adoquines el relave minero no puede reemplazar al 100% a la arena y se usa únicamente un 25% y 50% porcentaje de relave en sustitución de la arena para garantizar la mezcla.
- Los adoquines con relave minero reducen su resistencia a tracción indirecta con respecto a los adoquines sin relave, en el caso de absorción encontramos que los adoquines con mayor % de relave absorben mayor cantidad de agua en comparación con los adoquines sin relave, es así mismo el caso que los adoquines con relave sufren mayor desgaste a la abrasión que los adoquines sin relave; todo esto de acuerdo a los ensayos descritos en la Norma INEN 3040. Finalmente, en el caso de la resistencia al deslizamiento todos los adoquines estuvieron por debajo del límite establecido por GEOCONS.
- No es probable el uso de adoquines con relave de acuerdo con la dosificación empleada por el fabricante ya que para ello se necesita que cumplan con la totalidad de los parámetros establecidos según norma.
- Debido a la reducción en la resistencia a la tracción indirecta y abrasión no se apunta a una dosificación óptima para la elaboración de adoquines con relave.
- La principal ventaja ambiental de su posible uso sería la reducción del área de relaveras y como consecuencia evitar la deforestación excesiva de áreas verdes. En cuanto a la principal ventaja social sería la generación de fuentes de trabajo y mejoramiento de la red vial.

- Las fallas en el adoquinado de vías se pueden explicar debido a que los adoquines sin relave ensayados no cumplen con la norma INEN 3040. Como consecuencia la falla en los mismos se presenta antes de llegar a la resistencia descrita en la Norma.
- El relave minero contiene una alta humedad in situ debido a que para obtener el relave se necesitan grandes cantidades de agua debido a que el oro se obtiene mediante lavado. Además, cuenta con un índice de plasticidad del 9%, es decir, que una vez seco el relave pasa a ser un material semisólido y con un pequeño incremento en la humedad pasa formar una solución granular fina.

7.2. RECOMENDACIONES

- En base a los resultados obtenidos y de acuerdo con la dosificación establecida analizar la posibilidad de realizar otros prototipos de adoquines con mayor porcentaje de cemento, para garantizar el cumplimiento de parámetros de la norma INEN 3040 y así poder usarlos para tránsito vehicular o peatonal.
- Debido a la sensibilidad del relave a la humedad, se recomienda no exceder en la cantidad del agua y limitar su uso en la fabricación de adoquines.
- Considerar la metodología planteada para desarrollar un plan de manejo de relaves para su aplicación en temas de materiales constructivos como los adoquines.

8. BIBLIOGRAFÍA

Cardno. (2018). *Estudio de impacto ambiental y social Proyecto Minero Fruta del Norte.* Yantzaza: Cardno.

Espín, D., Jarrín, J., & Escobar, O. M. (2017). Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros generados en el proyecto Río Blanco. . *Ciencias de Seguridad y Defensa, II (4)*, 12.

Ferreira, S. J., & Serrano, M. (2009). *Aprovechamiento de los escombros para la produccion de concreto.* Barranquilla: REDISA.

INEN. (2016). *NTE INEN 3040: Adoquines de hormigón. requisitos y métodos de ensayo.* Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.

INEN. (2016). *NTE INEN 3066: Instituto Ecuatoriano de Normalización. Bloques de hormigón. requisitos y métodos de ensayo.* Quito: INEN.

Jácome Calderón, J. F. (2020). *Desarrollo de adoquines, a partir de los relaves de mina de la empresa minera "Agro-Industrial el Corazón".* Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

Lojano Vele, S. E. (2020). *Propuesta de un sistema de gestión integrado que permita la sustentabilidad socio-ambiental de la planta de beneficio de oro en Ecuador.* Concepción: Universidad de Concepción.

Ministerio de Ambiente. (2018). *Reglamento Ambiental De Actividades Mineras.* Obtenido de Registro Oficial Suplemento 213 de 27-mar.-2014: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/REGLAMENTO-AMBIENTAL-DE-ACTIVIDADES-MINERAS-MINISTERTIO-AMBIENTE.pdf

Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (22 de Julio de 2020). *Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables emite nuevo instructivo para depósitos de relaves dirigido a la mediana y gran minería*. Obtenido de Noticias : https://www.recursosyenergia.gob.ec/ministerio-de-energia-y-recursos-naturales-no-renovables-emite-nuevo-instructivo-para-depositos-de-relaves-dirigido-a-la-mediana-y-gran-mineria/

Ortega, F., Pérez, Á., Vallejo, A., & Veloz, E. (2020). *"ASESORAMIENTO Y CONSULTORÍA GRATUITA EN MATERIA DE SEGURIDAD, TECNOLOGÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN A PERSONAS EN CONDICIONES VULNERABLES, PEQUEÑOS PRODUCTORES Y PRODUCTORES ARTESANOS DE LA ZONA 3.* Riobamba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO.

Pabón Torres, N. B. (2011). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de adoquines, ubicada en el barrio Santa Lucía del Retorno, Cantón Ibarra provincia de Imbabura.* Quito: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.

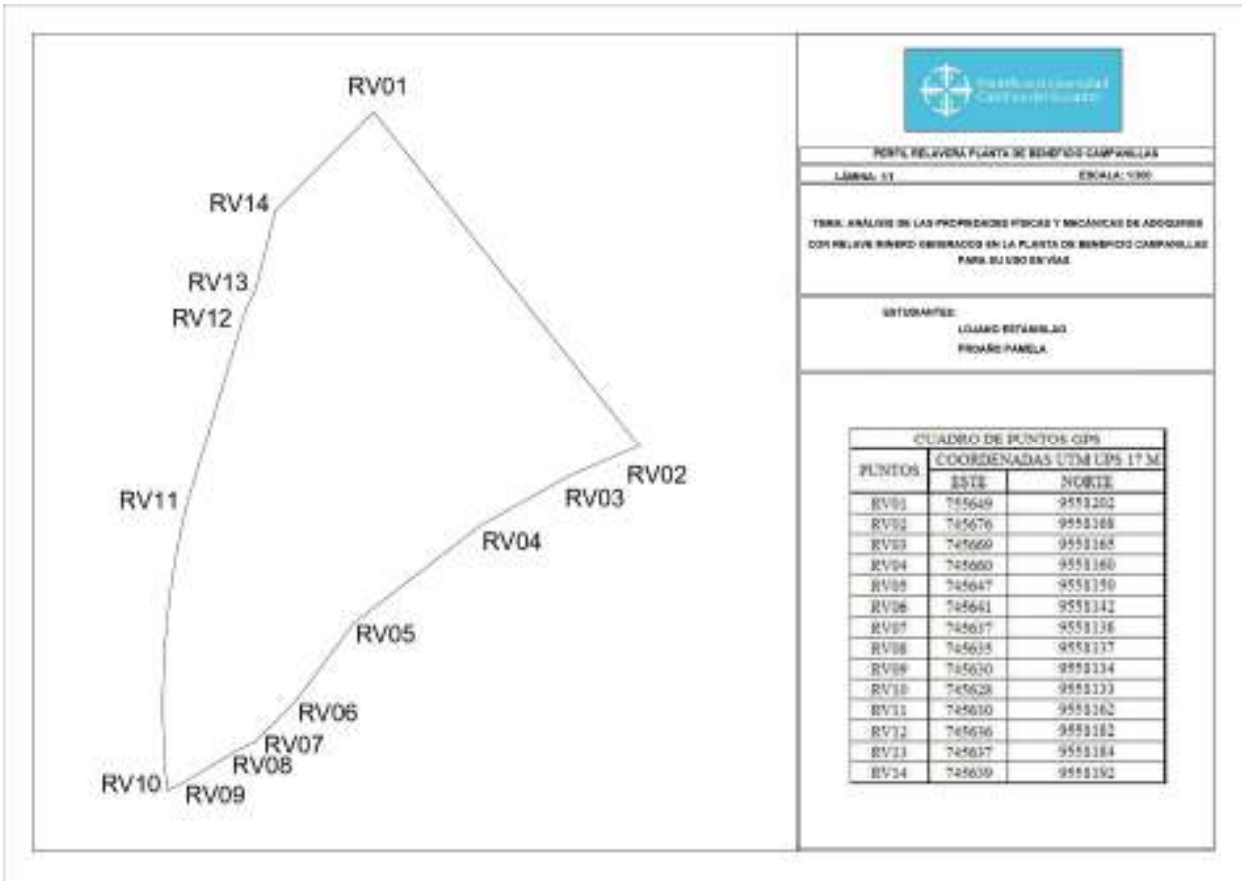
Romero, A. A., & Flores, S. L. (2010). *Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas.* Lima: Facultad de Ingeniería Industrial.

Sánchez, J. J. (2018). *Caracterización de pasivos ambientales mineros en la microcuenca de la quebrada campanas de la parroquia san carlos de las minas, cantón zamora y provincia de zamora chinchipe.* Loja: Universidad Nacional De Loja.

Vivas, A. V. (2011). *Los Dilemas Del Desarrollo: Mineríaa Gran Escala En La Cordillera Del Cóndor.* Obtenido de Universidad Andina Simón Bolívar: https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/2511/1/T0971-MELA-Vivas-Los%20dilemas.pdf

9. ANEXOS

Anexo A. Perfil relavera Planta Beneficio Campanillas



PERFIL RELAVERA PLANTA DE BENEFICIO CAMPANILLAS

LÁMINA: 1/1 ESCALA: 1/500

TEMA: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE ADOQUINES CON RELAVE MINERO OBTENIDOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO CAMPANILLAS PARA SU USO EN VÍAS

ESTUDIANTES:
LOJANO ESTÁNISLAO
PROAÑO PAMELA

CUADRO DE PUNTOS GPS

PUNTOS	COORDENADAS UTM GPS 17 M	
	ESTE	NORTE
RV01	745649	9553202
RV02	745676	9553188
RV03	745669	9553185
RV04	745660	9553180
RV05	745647	9553150
RV06	745641	9553142
RV07	745637	9553136
RV08	745635	9553137
RV09	745630	9553134
RV10	745628	9553133
RV11	745610	9553162
RV12	745636	9553182
RV13	745637	9553184
RV14	745639	9553192

Anexo B. Elaboración de adoquines con y sin relave





Anexo C. Resultados de ensayo de clasificación Agregado fino

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.

GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-548607

Cel: 0994874048

PROYECTO	TRABAJO DE TITULACIÓN: ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS MECANICAS DE AGOGUINES CON RELEVE MINERO GENERADOS EN LA PLANTA DE DE BENEFICIO CAMPANILLAS PARA SU USO EN VIAS
MUESTRA	ARENA FINA
SOLICITA	ESTANISLAO LUIS LOJANO SOSORANGA Y PAMELA DOMENICA PROAÑO NARANJO
UBICACION	SAN CARLOS DE LAS MINAS, MINA CAMPANILLAS
FECHA	18 de mayo de 2021

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

RECR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
9,5	3/8"	0	0	100	
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12,5	1/2"	0	0	100	
9,5	3/8"	0	0	100	
4,750	Nº.4	0	0	100	
	Pasa Nº.4	2000	100	0	
2,380	Nº.8				
2,000	Nº.10	2	0	100	
1,190	Nº.16	4	1	99	
0,850	Nº.20				
0,600	Nº.30				
0,425	Nº.40	1	1	99	
0,300	Nº.50				
0,150	Nº.100	13	3	97	
0,075	Nº.200	37	10	90,3	
	Pasa Nº.200	1806	90,3		
	TOTAL	2000			

Peso Total de Lavado	498.31		
Peso Total después de Lavado	57.00		



GEOCONS TRUYE CIA LTDA
CONSTRUCTORA & CONSTRUCTORA
RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

CONTENIDO DE HUMEDAD

PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPSULA	% DE HUMEDAD	RESULTADO
82,81	58,68	17,06	15,48	15,48

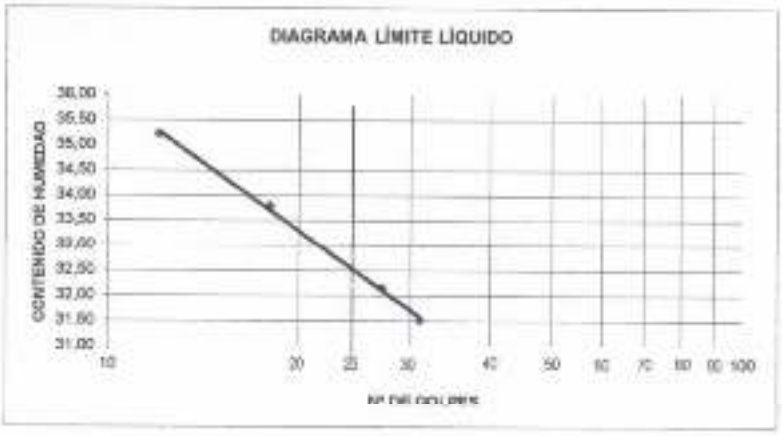
ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

GEOCONS TWYE CIA. LTDA.
SERVICIOS, CONSULTORIA & CONSTRUCTORA
RUC. 1191774473001

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO

NUMERO DE CAPSULA		121	402	35	1	
Peso de la Cápsula (gr.)		17,44	16,99	17,37	18,05	
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo (gr.)		32,14	29,48	31,59	32,45	
Peso de la Cápsula + Suelo Seco	(gr.)	28,31	26,32	28,10	29,00	
Peso del suelo Seco	(gr.)	10,87	9,41	10,73	10,95	
Peso del Agua	(gr.)	3,83	3,16	3,48	3,45	
Contenido de Humedad	(%)	35,23	33,79	32,43	31,51	
NUMERO DE GOLPES		12	19	27	31	



LÍMITE PLÁSTICO

NUMERO DE CAPSULA		158	3	39	
Peso de la Cápsula (gr.)		6,11	6,51	6,39	
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo (gr.)		6,37	6,66	7,05	
Peso de la Cápsula + Suelo Seco	(gr.)	6,33	6,61	6,92	
Peso del suelo Seco	(gr.)	0,21	0,14	0,53	
Peso del Agua	(gr.)	0,05	0,05	0,13	
Contenido de Humedad	(%)	23,81	35,53	24,53	
Contenido Medio de Humedad	(%)	L.P = 33,95 %			

RESULTADOS

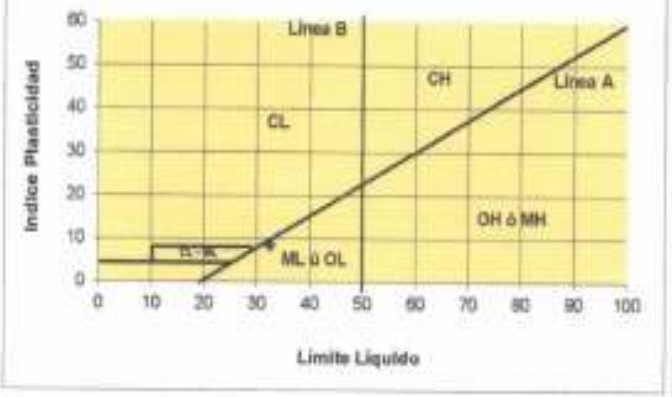
VALORES ENSAYO	VALORES ENTEROS SEGUN NORMA
L.L. = 33,6%	L.L. = 33%
L.P. = 24,0 %	L.P. = 24 %
I.P. = 8,4 %	I.P. = 8%

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

GEOCONS TWYE CIA. LTDA.
SERVICIOS, CONSULTORIA & CONSTRUCTORA
RUC. 1191774473001

CLASIFICACIÓN MÉTODO S.U.C.S. Y AASHTO

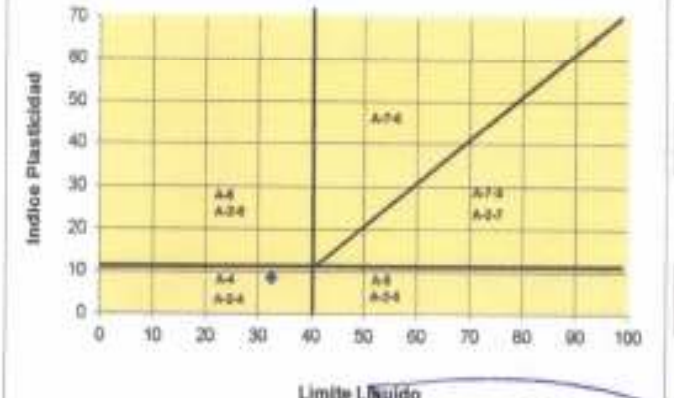
ÁBACO DE CASAGRANDE



LÍMITE LÍQUIDO L.L.	33 %
LÍMITE PLÁSTICO L.P.	24 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P.	9 %

CLASIFICACIÓN	
Pasa tamiz N°.4 :	100 %
Pasa tamiz N°.200 :	86 %
D60 :	
D30 :	
D10 (diámetro efectivo) :	
Coeficiente de Uniformidad (Cu) :	
Grado de Curvatura (Cc) :	
Valor del índice de grupo (IG)	0

CLASIFICACIÓN AASHTO



Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)

Limo baja plasticidad ML

Sistema de Clasificación de Suelos (AASHTO)

A-4 Suelo limoso

GEOCONS TRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA, CONSULTORIA & CONSTRUCTORA
RUC. 1191774473001

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

Anexo D. Resultados de ensayos de clasificación Agregado fino Relave minero

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.

GEOTECNIA - CONSULTORA & CONSTRUCTORA

Telf: 072-540907
Cel: 0994974048

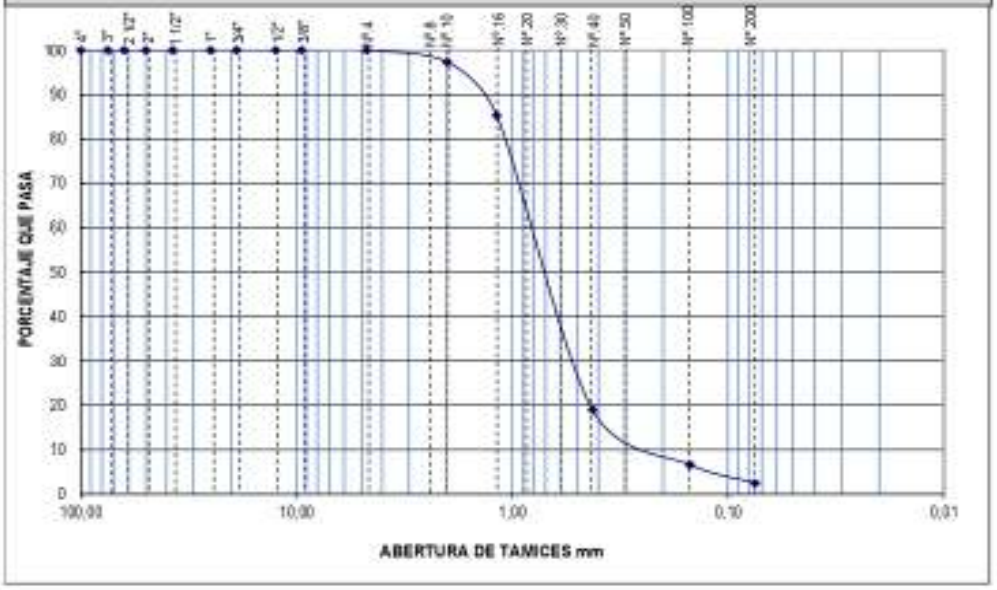
PROYECTO	TRABAJO DE TITULACIÓN: ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS MECANICAS DE ADOQUINES CON RELEVE MINERO GENERADOS EN LA PLANTA DE DE BENEFICIO CAMPANILLAS PARA SU USO EN VIAS
MUESTRA	ARENA FINA
SOLICITA	ESTANISLAO LUIS LOJANO SOSORANGA Y PAMELA DOMENICA PROAÑO NARANJO
UBICACIÓN	MINA LOS ENCUENTROS
FECHA	26 de julio de 2021

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
100	4"	0	0	100	
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12,5	1/2"	0	0	100	
9,5	3/8"	0	0	100	
4,750	Nº.4	0	0	100	
	Pasa Nº.4	1966	100	0	
2,360	Nº.8				
2,000	Nº.10	15	3	97	
1,180	Nº.16	82	15	85	
0,850	Nº.20				
0,600	Nº.30				
0,425	Nº.40	452	81	19	
0,300	Nº.50				
0,150	Nº.100	521	93	7	
0,075	Nº.200	544	97	2,5	
	Pasa Nº.200	14	2,5		
	TOTAL	1966			

Peso Total de Lavado:	558,00		
Peso Total después de Lavado:	544,00		

CURVA GRANULOMÉTRICA



CONTENIDO DE HUMEDAD				
PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPSULA	% DE HUMEDAD	RESULTADO
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	14,46

ING. RAMIRO [illegible]
RESPONSABLE GEOTECNICO

LIMITES DE CONSISTENCIA					
LÍMITE LÍQUIDO					
NUMERO DE CAPSULA					
Peso de la Capsula (gr.)					
Peso de la Capsula + Suelo Humedo (gr.)					
Peso de la Capsula + Suelo Seco (gr.)					
Peso del suelo Seco (gr.)					
Peso del Agua (gr.)					
Contenido de Humedad (%)					
NUMERO DE GOLPES					



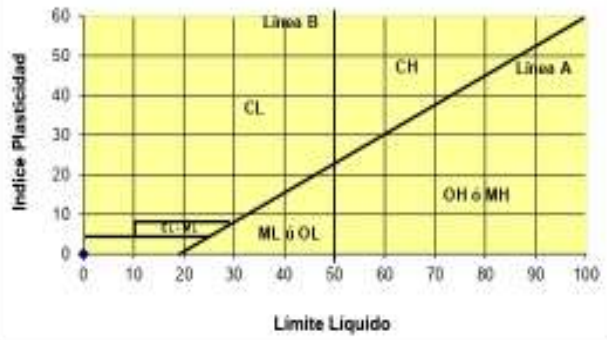
LÍMITE PLÁSTICO				
NUMERO DE CÁPSULA				
Peso de la Capsula (gr.)				
Peso de la Capsula + Suelo Humedo (gr.)				
Peso de la Capsula + Suelo Seco (gr.)				
Peso del suelo Seco (gr.)				
Peso del Agua (gr.)				
Contenido de Humedad (%)				
Contenido Medio de Humedad (%)				

RESULTADOS	
VALORES ENSAYO	VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA
L.L. = 0,0%	L.L. = 0%
L.P. = 0,0 %	L.P. = 0 %
N.P	N.P

ING. RAMIRO [illegible]
RESPONSABLE GEOTECNICO

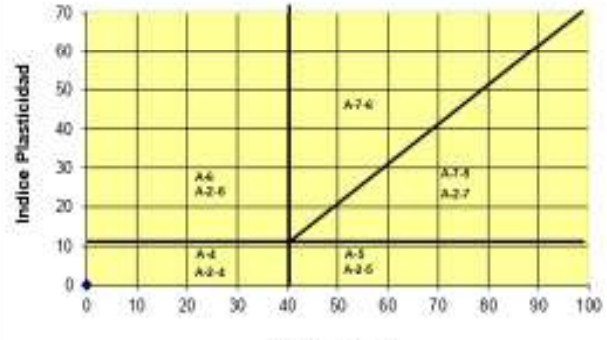
CLASIFICACIÓN MÉTODO S.U.C.S. Y AASHTO

ÁBACO DE CASAGRANDE



LÍMITE LÍQUIDO L.L.	0 %
LÍMITE PLÁSTICO L.P.	0 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD I.P.	NP

CLASIFICACIÓN AASHTO



CLASIFICACIÓN	
Pasa tamiz N°.4 :	100 %
Pasa tamiz N°.200 :	3 %
D60 :	0,93 mm
D30 :	0,54 mm
D10 (diámetro efectivo) :	0,22 mm
Coeficiente de Uniformidad (Cu) :	4,22
Grado de Curvatura (Cc) :	1,44
Valor del índice de grupo (IG)	0

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.)

Arena mal graduada SP

Sistema de Clasificación de Suelos (AASHTO)

A-1-b Fragmentos de roca, grava y arena

.....

ING. RAMIRO JIMÉNEZ

RESPONSABLE GEOTÉCNICO

Anexo E. Resultados ensayo de tracción indirecta en adoquines SIN RELAVE

Telf: 072-560907
Cel: 0994974048

"GEOCONSTRUYE" LABORATORIO

Ingeniería - Consultoría & Construcción

DETERMINACIÓN DE MEDIDA DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA EN ADOQUINES.

Proyecto:	TRABAJO DE TITULACION: ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS MECANICAS DE ADOQUINES CON RELIEVE MINERO GENERANDOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO CAMPANILLAS PARA SU USO EN VIAS		
Muestra:	ADOQUINES TIPO CRUZ DE 8,00 cm DE ESPESOR	**Fecha:**	27/06/2021
Norma:	INEN 3040	**Realizo:**	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
Solicitado:	ESTANISLAO LUIS LOJANO SOSORANGA Y PAMELA DOMENICA PROAÑO NARANJO		

ADOQUINES CVEHICULAR SIN ADITIVO COLOR ROJO

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUÍN	MASA (A)	CARGA (F)	CARGA POR LONGITUD (f)	VALOR NORMADO	CONDICIÓN	RESISTENCIA A TRACCIÓN (T)	FACTOR NORMADO	CONDICIÓN	RESISTENCIA PROMEDIO	FACTOR NORMADO	CONDICIÓN	f2 Mpa	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA
1	ADOQUÍN VEHICULAR	18920	45890	154.34		NO CUMPLE	2.01		NO CUMPLE					
2	ADOQUÍN VEHICULAR	18920	46820	157.97		NO CUMPLE	2.05		NO CUMPLE					
3	ADOQUÍN VEHICULAR	18920	49540	209.47		NO CUMPLE	2.17		NO CUMPLE					
4	ADOQUÍN VEHICULAR	18920	48350	204.44		NO CUMPLE	2.12		NO CUMPLE					
5	ADOQUÍN VEHICULAR	18920	47150	200.37		NO CUMPLE	2.06		NO CUMPLE					
					f >250 N/mm			T≥√f'c/ x2.0		2.08	Tprom≥f(x) ≥3.6MPa	NO CUMPLE	0.00	0.000 MPa

CARACTERÍSTICAS DE LOS ADOQUINES

COLOR DEL ADOQUÍN	ROJO

Recomendación: Segun la norma INEN 3040, al momento de no cumplir la carga por longitud (F) se debe repetir el diseño del adoquín.

$$T = 0{,}637 * k * \frac{P}{A} \qquad s = \sqrt{\frac{\sum(fi - fm)^2}{n-1}} \qquad fm = T_{promedio\ valores}$$



RAMIRO HERNAN JIMENEZ VEGA

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

Anexo F. Resultados de ensayo de tracción indirecta adoquines CON RELAVE AL 25% Y 50%



"GEOCONSTRUYE" LABORATORIO

Ingeniería, Consultoría & Construcción

Telf: 072-640907
Cel: 0994974048

DETERMINACIÓN DE MEDIDA DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA EN ADOQUINES.

Proyecto:	TRABAJO DE TITULACION: ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS MECANICAS DE ADOQUINES CON RELAVE MINERO GENERADOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO CAMPAMENTO AS PARA SU USO EN VIAS		
Muestra:	ADOQUINES TIPO CRUZ DE 8,00 cm DE ESPESOR	**Fecha:**	27/05/2021
Norma:	INEN 3040	**Realizo:**	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
Solicitado:	ESTANISLAO LUIS LOJANO SOSORANGA Y PAMELA DOMENICA PROAÑO NARANJO		

ADOQUINES CON 25% DE ADITIVO

1		1960	229.8			N.D.MPa	161		N.D.MPa					
2		1960	6892	172.31		N.D.MPa	174		N.D.MPa					
3		1960	6798	169.71		N.D.MPa	151		N.D.MPa					
4		1960	6588	164.69		N.D.MPa	181		N.D.MPa					
5		1960	6948	173.71		N.D.MPa	168		N.D.MPa					
6		1960	6888	169.43		N.D.MPa	156	N/A	N.D.MPa					
7		1960	6888	172.01		N.D.MPa	131	N/A	N.D.MPa					
8		1960	6888	172.01		N.D.MPa	174		N.D.MPa					
9		1960	6888	169.58		N.D.MPa	140		N.D.MPa					

ADOQUINES CON 50% DE ADITIVO

1		1960	6888	172.13		N.D.MPa	142		N.D.MPa					
2		1960	6888	169.37		N.D.MPa	119		N.D.MPa					
3		1960	6888	169.03		N.D.MPa	119		N.D.MPa					
4		1960	6888	169.38		N.D.MPa	114		N.D.MPa					
5		1960	6888	169.71		N.D.MPa	115		N.D.MPa					
6		1960	6888	169.38		N.D.MPa	112		N.D.MPa					
7		1960	6888	169.81		N.D.MPa	104		N.D.MPa					
8		1960	6888	169.38		N.D.MPa	104		N.D.MPa					
9		1960	6888	169.25		N.D.MPa	117		N.D.MPa					

CARACTERISTICAS DE LOS ADOQUINES

COLOR DEL ADOQUIN	GRIS
Recomendación: Según la norma INEN 3040, al momento de no cumplir la carga de tensión (F) se debe repetir el diseño del adoquín	

$$T = 0{,}637 * k * \frac{P}{A} \qquad s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad f'ct = T_{promedio} - ks$$



RAMIRO
HERNAN
JIMENEZ VEGA

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

Anexo G. Resultados de ensayo Absorción de adoquines SIN RELAVE

"GEOCONSTRUYE" LABORATORIO
Gerencia · Consultoría & Construcción
Telf: 072-640907
Cel: 0994974048

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ABSORCIÓN TOTAL DE AGUA EN ADOQUINES.

Proyecto:	TRABAJO DE TITULACIÓN: ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS MECANICAS DE ADOQUINES CON RELIEVE MINERO GENERANDOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO CANTANILLAS PARA SU USO EN VIAS		
Muestra:	ADOQUINES TIPO CRUZ DE 8 cm DE ESPESOR	Fecha:	27/09/2021
Norma:	INEN 3040	Realizo:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
Solicitado:	ESTANISLAO LUIS LOJANO SOSORANGA Y PAMELA DOMENICA PROAÑO NARANJO		

ADOQUINES VEHICULAR SIN ADITIVO COLOR ROJO

MUESTRA N°	MASA HUMEDA 1 gr	MASA SECA 2 gr	ABSORCIÓN DEL AGUA Wa (%)	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
1	3046.80	3886.80	2.10	
2	3825.60	3788.50	3.32	
3	4017.10	3809.80	2.41	
4	3996.50	3886.50	2.70	
5	4058.80	3966.80	2.80	
				2.64 %

CARACTERÍSTICAS DE LOS ADOQUINES	
COLOR DEL ADOQUIN	ROJO
PROMEDIO DE ABSORCIÓN	2.64 %
$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \cdot 100\%$	



RAMIRO HERNAN JIMENEZ VEGA

ING. RAMIRO JIMENEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

Anexo H. Resultados de ensayo de Absorción de adoquines CON RELAVE AL 25% Y 50%

"GEOCONSTRUYE" LABORATORIO
Especialistas en Construcción y Construcciones
Telf: 072-540907
Cel: 0994974048

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ABSORCIÓN TOTAL DE AGUA EN ADOQUINES.

Proyecto:	TRABAJO DE TITULACIÓN: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE ADOQUINES CON RELAVE MINERO GENERADOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO CAMPANILLAS PARA SU USO EN VÍAS		
Muestra:	ADOQUINES TIPO CRUZ DE 8,00 cm DE ESPESOR	Fecha:	2/08/2021
Norma:	INEN 3040	Realizo:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
Solicitado:	ESTANISLAO LUIS LOJANO SOSORANGA Y PAMELA DOMÉNICA PROAÑO NARANJO		

ADOQUINES CON 25% DE ADITIVO

MUESTRA N°	MASA HUMEDA 1 gr	MASA SECA 2 gr	ABSORCIÓN DEL AGUA Wa (%)	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
1	4156.70	4074.50	2.74	2.74 %
2	3848.60	3743.40	2.73	
3	3844.80	3808.70	2.73	
4	3875.50	3808.50	2.71	
5	4065.70	3970.80	2.72	
6	4156.60	4046.60	2.72	
7	3879.50	3775.40	2.73	
8	3847.80	3843.70	2.73	
9	4068.80	3961.90	2.73	

ADOQUINES CON 50% DE ADITIVO

MUESTRA N°	MASA 1 gr	MASA 2 gr	ABSORCIÓN DEL AGUA Wa (%)	PROMEDIO DE ABSORCIÓN
1	3822.60	3702.50	3.24	3.25 %
2	4100.50	3970.50	3.27	
3	3965.70	3841.60	3.23	
4	4125.80	3998.60	3.20	
5	3894.60	3772.50	3.24	
6	4095.60	3966.20	3.24	
7	4108.70	3978.80	3.25	
8	3900.50	3780.50	3.25	
9	4122.60	3992.50	3.28	

CARACTERÍSTICAS DE LOS ADOQUINES	
COLOR DEL ADOQUÍN	GRIS
PROMEDIO DE ABSORCIÓN 25%	2.74 %
PROMEDIO DE ABSORCIÓN 50%	3.25 %
$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100\%$	



RAMIRO HERNAN JIMENEZ VEGA
Firmado digitalmente por RAMIRO HERNAN JIMENEZ VEGA
Fecha: 2021.07.06 12:36:16 -05'00'

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

Anexo I. Resultados de ensayo de Abrasión de adoquines SIN RELAVE

"GEOCONSTRUYE" LABORATORIO
Geotecnia - Consultoría & Construcción
Telf: 072-540907
Cel: 0994974048

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE EN ADOQUINES MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA RUEDA ANCHA.

Proyecto:	TRABAJO DE TITULACION: ANALISIS DE LAS PROPIEDADES TISICAS MECANICAS DE ADOQUINES CON RELAVE MINERO GENERADOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO CAMPANILLAS PARA SU USO EN VIAS		
Muestra:	ADOQUINES TIPO CRUZ DE 8.00 cm DE ESPESOR	Fecha:	27/06/2021
Norma:	INEN 3040	Realizo:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
Solicitado:	ESTANISLAO LUIS LOJANO SOSORANGA Y PAMELA LOURDES PROAÑO NARANJO		

ADOQUINES SIN ADITIVO COLOR ROJO

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUIN	HUELLA (mm)	HUELLA PROMEDIO Hm	DESVIACIÓN ESTANDAR S	Huella Crítica Hc=(Hm+S)	Huella Normada	Condición
1	ADOQUIN VEHICULAR	25.32	25.00 mm	0.62 mm	25.62 mm	RANGO 20 ±0.5mm (19.5-20.5)	NO CUMPLE
2	ADOQUIN VEHICULAR	24.26					
3	ADOQUIN VEHICULAR	25.12					

FORMULAS

HUELLA CRÍTICA	DESVIACIÓN ESTANDAR	COLOR DE ADOQUIN	
$H_c = H_m + S$	$S = \sqrt{\frac{\sum(fi - fm)^2}{n-1}}$	ROJO	

RAMIRO HERNAN JIMENEZ VEGA

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

Anexo J. Resultados de ensayo de Abrasión de adoquines CON RELAVE AL 25% Y 50%

Telf: 072-640907
Cel: 0994974048

"GEOCONSTRUYE" LABORATORIO

Geotecnia - Consultoría & Construcción

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE EN ADOQUINES MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA RUEDA ANCHA.

Proyecto:	TRABAJO DE TITULACIÓN: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE ADOQUINES CON RELIEVE MINERO GENERANDO S EN LA PLANTA DE BENEFICIO CAMPANILLAS PARA SU USO EN VIAS		
Muestra:	ADOQUINES TIPO CRUZ DE 8,00 cm DE ESPESOR	Fecha:	27/06/2021
Norma:	INEN 3040	Realizo:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
Solicitado:	ESTANISLAO LUIS LOJANO SOBORANCA Y PAMELA DOMENICA PIZARRO NARANJO		

ADOQUINES CON 25% DE ADITIVO

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUIN	HUELLA (mm)	HUELLA PROMEDIO Hm	DESVIACIÓN ESTANDAR S	Huella Crítica Hc=(Hm+S)	Huella Normada	Condición
1	ADOQUIN VEHICULAR	26.32	26.00 mm	2.46 mm	28.46 mm	RANGO 20 ±0.5mm (19,5-20,5)	NO CUMPLE
2	ADOQUIN VEHICULAR	29.83					
3	ADOQUIN VEHICULAR	22.93					
4	ADOQUIN VEHICULAR	23.81					
5	ADOQUIN VEHICULAR	25.02					
6	ADOQUIN VEHICULAR	26.73					

ADOQUINES CON 50% DE ADITIVO

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUIN	HUELLA (mm)	HUELLA PROMEDIO Hm	DESVIACIÓN ESTANDAR S	Huella Crítica Hc=(Hm+S)	Huella Normada	Condición
1	ADOQUIN VEHICULAR	30.65	30.00 mm	4.65 mm	34.65 mm	RANGO 20 ±0.5mm (19,5-20,5)	NO CUMPLE
2	ADOQUIN VEHICULAR	28.45					
3	ADOQUIN VEHICULAR	30.49					
4	ADOQUIN VEHICULAR	36.2					
5	ADOQUIN VEHICULAR	31.72					
6	ADOQUIN VEHICULAR	22.01					

FORMULAS

HUELLA CRÍTICA	DESVIACIÓN ESTANDAR	COLOR DE ADOQUIN	
$H_c = H_m + S$	$S = \sqrt{\frac{\sum(fi - fm)^2}{n-1}}$	GRIS	

RAMIRO HERNAN JIMENEZ VEGA

Firmado digitalmente por RAMIRO HERNAN JIMENEZ VEGA
Fecha: 2021.07.06 12:20:43 -05'00'

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

Anexo K. Resultados de ensayo de deslizamiento de adoquines SIN RELAVE

Telf: 072-540907
Cel: 0994974048

"GEOCONSTRUYE" LABORATORIO

Geotecnia - Consultoría & Construcción

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO/RESBALAMIENTO SIN PULIR (USRV) EN ADOQUINES

Proyecto:	TRABAJO DE TITULACIÓN: ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS MECANICAS DE ADOQUINES CON RELIEVE MINERO GENERANDOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO CAMPANILLAS PARA SU USO EN VIAS		
Muestra:	ADOQUINES TIPO CRUZ DE 8,00 cm DE ESPESOR	**Fecha:**	27/06/2021
Norma:	INEN 3040	**Realizo:**	ING. RAMIRO JIMENEZ
Solicitado:	ESTANISLAO LUIS LOJANO SOSORANGA Y PAMELA DOMENICA PROAÑO NARANJO		

ADOQUINES SIN ADITIVO COLOR ROJO

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUÍN	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Rd	PROMEDIO Rd	PROMEDIO TOTAL	NORMA	CLASIFICACIÓN TIPO
1	ADOQUÍN VEHICULAR	58	59.20	57.60	Rds15 -PELIGROSO 15<Rds35 -MUY LISO 35<Rds45 - LISO Rd>45 - RUGOSO.	RUGOSO
		61				
		57				
		62				
		58				
2	ADOQUÍN VEHICULAR	57	58.60			
		55				
		57				
		64				
		60				
3	ADOQUÍN VEHICULAR	57	55.00			
		54				
		56				
		51				
		57				

Resistencia al Deslizamiento	Clase	Rugosidad
Rds15	Clase 0	Peligroso
15<Rds35	Clase 1	Muy Liso
35<Rds45	Clase 2	Liso
Rds>45	Clase 3	Rugoso

RAMIRO HERNAN JIMENEZ VEGA

Firmado digitalmente por RAMIRO HERNAN JIMENEZ VEGA
Fecha: 2021.07.06 12:33:42 -05'00'

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

Anexo L. Resultados de ensayo deslizamiento de adoquines CON RELAVE al 50%

Telf: 072-540907
Cel: 0994974048

"GEOCONSTRUYE" LABORATORIO

Tecnología · Conocimiento & Innovación

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO/RESBALAMIENTO SIN PULIR (USRV) EN ADOQUINES

Proyecto:	TRABAJO DE TITULACIÓN: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS MECÁNICAS DE ADOQUINES CON RELIEVE MINERO GENERANDOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO CAMPANILLAS PARA SU USO EN VÍAS		
Muestra:	ADOQUINES TIPO CRUZ DE 8,00 cm DE ESPESOR	**Fecha:**	27/09/2021
Norma:	INEN 3040	**Realizo:**	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
Solicitado:	ESTANISLAO LUIS LOJANO SOSORANGA Y PAMELA DOMENICA PROAÑO NARANJO		

ADOQUINES CON 50% DE ADITIVO

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUÍN	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Rd	PROMEDIO Rd	PROMEDIO TOTAL	NORMA	CLASIFICACIÓN TIPO
1	ADOQUÍN VEHICULAR	70				
		64				
		68	6680			
		68				
		62				
2	ADOQUÍN VEHICULAR	64				
		60				
		62	6280			
		64				
		64				
3	ADOQUÍN VEHICULAR	66				
		66				
		68	6600			
		66				
		66				
4	ADOQUÍN VEHICULAR	68		6472	Re<15 PELIGROSO 15<Re<25 MEDIANO Re>25 RUGOSO	RUGOSO
		61				
		66	6600			
		66				
		68				
5	ADOQUÍN VEHICULAR	68				
		65				
		64	6470			
		62				
		62				
6	ADOQUÍN VEHICULAR	64				
		65				
		62	6520			
		62				
		65				

Nombre del Laboratorio	Cargo	Firma(s)
RAMIRO	Director	Firmado
DIEGO	Director	Firmado
ESTEBAN	Director	Firmado
DAVID	Director	Firmado

RAMIRO HERNAN JIMENEZ VEGA

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo M. Resultados de ensayo deslizamiento de adoquines CON RELAVE AL 25%



Telf: 072-540907
Cel: 0994974048

"GEOCONSTRUYE" LABORATORIO

Geotecnia - Consultoría y Construcción

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO/RESBALAMIENTO SIN FULIR (USRV) EN ADOQUINES

Proyecto:	TRABAJO DE TITULACIÓN: ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS MECANICAS DE ADOQUINES CON RELIEVE MINERO GENERANDOS EN LA PLANTA DE BENEFICIO CAMPANILLAS PARA SU USO EN VIAS		
Muestra:	ADOQUINES TIPO CHILENO 8 cm DE ESPESOR	**Fecha:**	[illegible]
Norma:	INEN 3040	**Realizo:**	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
Solicitado:	ESTANISLAO LUIS LOJANO BOBORANGA Y PAMELA DOMENICA PROAÑO NARANJO		

ADOQUINES CON 25% DE ADITIVO

MUESTRA No.	TIPO DE ADOQUÍN	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Rd	PROMEDIO Rd	PROMEDIO TOTAL	NORMA	CLASIFICACION TIPO
1	ADOQUÍN VEHICULAR	66	65.6	[illegible]	[illegible]	[illegible]
		66				
		66				
		67				
		66				
2	ADOQUÍN VEHICULAR	62	62			
		66				
		60				
		60				
		60				
3	ADOQUÍN VEHICULAR	69	65.8			
		66				
		66				
		62				
		64				
4	ADOQUÍN VEHICULAR	70	69.6			
		72				
		69				
		69				
		68				
5	ADOQUÍN VEHICULAR	70	67.8			
		67				
		67				
		70				
		65				
6	ADOQUÍN VEHICULAR	66	64.2			
		67				
		67				
		62				
		65				

[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]

RAMIRO HERNAN JIMENEZ VEGA

[illegible]

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO