



# **UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL CON MENCIÓN EN  
CARRETERAS, PUENTES Y TÚNELES

BLOQUES DE RELAVE PARA CAMINOS EN ZONAS MINERAS

**TESIS**

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRA EN  
INGENIERÍA VIAL CON MENCIÓN EN CARRETERAS, PUENTES Y  
TÚNELES

**AUTORA**

MENESES VASQUEZ, KARINA OLENKA

(ORCID: 0000-0001-8080-6722)

**ASESOR**

ARAMAYO PINAZO, FRANCISCO ANTONIO

(ORCID: 0000-0001-9463-3930)

**LIMA, PERÚ**

**2023**

## **Metadatos Complementarios**

### **Datos de autor**

Meneses Vasquez, Karina Olenka

Tipo de documento de identidad del AUTOR: DNI

Número de documento de identidad del AUTOR: 71052752

### **Datos de asesor**

Aramayo Pinazo, Francisco Antonio

Tipo de documento de identidad del ASESOR: DNI

Número de documento de identidad del ASESOR: 01322435

### **Datos del jurado**

JURADO 1: Chavarry Vallejos, Carlos Magno, DNI N° 07410234,

ORCID 0000-0003-0512-8954

JURADO 2: Valencia Gutierrez, Andres Avelino, DNI N° 07065758,

ORCID 0000-0002-8873-189X

JURADO 3: Montalvo Farfan, Marco Antonio, DNI N° 08029624,

ORCID 0000-0001-6391-879X

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 732527

Código del Programa: 2.01.05

## ANEXO N.º 1

### DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, KARINA OLENKA MENESES VASQUEZ, con código de estudiante N° 202121133 con (DNI o Carné de Extranjería) N° 71052752, con domicilio en Urb. Sol de Ica C-9 (II etapa) distrito Ica, provincia y departamento de Ica, en mi condición de Maestra en Ingeniería Vial con mención en Carreteras, Puentes y Túneles de la Escuela de Posgrado, declaro bajo juramento que:

La presente tesis **titulado:** “BLOQUES DE RELAVE PARA CAMINOS EN ZONAS MINERAS” es de mi única autoría, bajo el asesoramiento del docente FRANCISCO ANTONIO ARAMAYO PINAZO, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el 20% de similitud final.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumo responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet.

Asimismo, ratifico plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de mi conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumo toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y soy consciente de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, me someto a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 14 de diciembre del 2023



KARINA OLENKA MENESES VASQUEZ

(DNI N°71052752)

# BLOQUES DE RELAVE PARA CAMINOS EN ZONAS MINERAS

## INFORME DE ORIGINALIDAD

**20%**

INDICE DE SIMILITUD

**20%**

FUENTES DE INTERNET

**3%**

PUBLICACIONES

**7%**

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.upn.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>6%</b>
<b>2</b>	<b>dspace.unia.es</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>upc.aws.openrepository.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.unh.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>www.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>www.virtualpro.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.upagu.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

10	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
11	<a href="http://repositorio.unp.edu.pe">repositorio.unp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
12	<a href="http://repositorio.ucp.edu.pe">repositorio.ucp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
13	<a href="http://geotecniafacil.com">geotecniafacil.com</a> Fuente de Internet	<1%
14	<a href="http://repositorio.ulvr.edu.ec">repositorio.ulvr.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
15	<a href="http://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
16	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
17	<a href="http://www.rumbominero.com">www.rumbominero.com</a> Fuente de Internet	<1%
18	<a href="http://carreras.frba.utn.edu.ar">carreras.frba.utn.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1%
19	<a href="http://www.lanamme.ucr.ac.cr">www.lanamme.ucr.ac.cr</a> Fuente de Internet	<1%
20	<a href="http://www.oriondata-i.com">www.oriondata-i.com</a> Fuente de Internet	<1%
21	<a href="http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl">repositorioslatinoamericanos.uchile.cl</a> Fuente de Internet	<1%

22	Submitted to Corporación Universitaria Minuto de Dios, UNIMINUTO Trabajo del estudiante	<1 %
23	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
25	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
27	jelosixonov.weebly.com Fuente de Internet	<1 %
28	transparencia.mtc.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
29	transparencia.uaustral.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
31	www.crehana.com Fuente de Internet	<1 %
32	GRUPO SACRAMENTO VASQUEZ SANCHEZ INGENIEROS S.A.C. - GRUPO SVS INGENIEROS S.A.C.. "Modificación del PAMA de la Unidad Productiva Chili N° 01-	<1 %

IGA0013996", R.D. N° 402-2016-  
PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2021

Publicación

---

33	Submitted to Universidad Anahuac México Sur Trabajo del estudiante	<1 %
34	www.sgs.es Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1 %
38	doczz.net Fuente de Internet	<1 %
39	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	tr-ex.me Fuente de Internet	<1 %
41	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
42	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

---

43

vdocuments.pub

Fuente de Internet

<1%

---

44

dspace.uevora.pt

Fuente de Internet

<1%

---

45

web.wpi.edu

Fuente de Internet

<1%

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 25 words

Excluir bibliografía

Activo

## **DEDICATORIA**

La presente Investigación es dedicada a mis padres Beto y Rosalina, dos grandes personas con íntegros valores que son mi ejemplo a seguir por su amor, fortaleza y sabiduría. Mi eterno amor y agradecimiento para ellos.

## **AGRADECIMIENTO**

- A Dios por bendecirme con sabiduría y haberme permitido avanzar en mi formación profesional.
- A mis padres por su apoyo incondicional, y motivación.
- A los catedráticos de la Maestría por los conocimientos impartidos, lecciones y experiencias.
- A mis compañeros por las anécdotas y momentos compartidos.
- A la vida, ¡Gracias!

## ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA	
PÁGINA DEL JURADO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE DE CONTENIDO	
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I:PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1. Descripción del Problema	5
1.2. Formulación del Problema	7
1.2.1. Problema General	7
1.2.2. Problemas Específicos	7
1.3. Importancia y Justificación del estudio	8
1.3.1. Importancia de la investigación	8
1.3.2. Justificación del estudio	8
1.4. Delimitación del Estudio	10
1.4.1. Delimitación Teórica	10
1.4.2. Delimitación Espacial	11
1.4.3. Delimitación Temporal	11
1.5. Objetivos de la Investigación	11
1.5.1. Objetivo General	11
1.5.2. Objetivos Específicos	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. Marco Histórico	12
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema de investigación	14
2.2.1. Investigaciones Nacionales	14

2.2.2.	Investigaciones Internacionales	16
2.3.	Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	19
2.3.1.	Caracterización del relave	19
2.3.2.	Carreteras no pavimentadas	47
2.4.	Definición de términos básicos	55
2.4.1.	Bloque de relave	55
2.4.2.	Relave de minerales inertes	56
2.4.3.	Mena de la mina	56
2.4.4.	Concentrado	56
2.4.5.	Ganga	56
2.4.6.	Lixiviación	56
2.4.7.	Caminos tipo T	57
2.4.8.	Estabilización de suelos con relave	57
2.4.9.	Trochas Carrozables	57
2.4.10.	Diseño del concreto	57
2.5.	Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis	58
2.6.	Hipótesis	59
2.6.1.	Hipótesis General	59
2.6.2.	Hipótesis Específicas	59
2.7.	Variables	60
 <b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO</b>		 61
3.1.	Tipo, Método y Diseño de la Investigación	61
3.1.1.	Enfoque de la Investigación	61
3.1.2.	Tipo de Investigación	61
3.1.3.	Métodos	62
3.1.4.	Diseño de la Investigación	65
3.2.	Población y Muestra	66
3.2.1.	Población	66
3.2.2.	Muestra	66
3.3.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	66
3.3.1.	Técnicas de investigación	67
3.3.2.	Instrumento de recolección de datos	67

3.3.3. Recolección de datos, validez y confiabilidad	67
3.4. Descripción y procedimiento de análisis	68
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	70
4.1. Resultados	70
4.2. Discusión de resultados	73
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXOS	84
1: Declaratoria de Autenticidad	85
2: Autorización de consentimiento para realizar la investigación	86
3: Matriz de consistencia	87
4: Matriz de Operacionalización	88
5: Protocolos e instrumentos utilizados	89
6: Formato de instrumentos o protocolos utilizados	89

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción minera a nivel mundial .....	1
Tabla 2: Características básicas para superficies de rodadura de carreteras bvt .....	10
Tabla 3: Análisis químico de relave minero-Quiruvilca - Vía Seca – Volumetría – Absorción Atómica .....	24
Tabla 4: Caracterización geoquímica de un relave .....	25
Tabla 5: Resultados de prueba de laboratorio a metales presentes en relaves mineros ..	26
Tabla 6: Producción minera metálica.....	29
Tabla 7: Granulometría .....	35
Tabla 8: Rango de peso específico de algunos metales .....	40
Tabla 9: Principales sulfuros existentes en depósitos minerales y su reactividad respecto a O <sub>2</sub> y Fe <sup>3+</sup> .....	45
Tabla 10: Caminos no pavimentados (km) .....	47
Tabla 11: Características básicas para la superficie de rodadura de las carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito .....	49
Tabla 12: Aplicabilidad del método SPT .....	51
Tabla 13: Correlaciones de Ensayo CBR.....	55
Tabla 14: Operacionalización de variables y definiciones .....	60
Tabla 15: Resultado del análisis de las investigaciones que forman parte de los antecedentes de la investigación.....	71

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Adoquín de concreto.....	12
Figura 2: Adoquines de arcilla y concreto .....	13
Figura 3: Esquema del procedimiento del desarrollo de la investigación.....	58
Figura 4: Consideraciones de aceptación para la industria de la construcción .....	70

## **RESUMEN**

Esta investigación titulada Bloques de relave para caminos en zonas mineras, es de enfoque documental que surge ante el aumento alarmante de relave que constituye un problema para los países mineros, en Perú se prevé que, para el año 2030 va a llegar a 4.5 millones de toneladas convirtiéndose en un riesgo latente de contaminación ambiental y, para contribuir en la solución, se formuló el objetivo de caracterizar los relaves para usarlo en la elaboración de bloques y en la estabilización de suelos de caminos no pavimentados. La metodología consistió en hacer una revisión sistemática de investigaciones de objetos de estudios similares, obteniendo como resultados, que el análisis geoquímico, físico químico y el potencial de drenaje de ácidos, es necesario para cualquier tipo de uso del relave; después del análisis de los resultados se llega a la conclusión de que hay estudios de diseño de bloques sin haberlos caracterizados minuciosamente, así mismo se evidencia la escasez de estudios específicos relacionados con estabilización de suelos con relave. Sin embargo, se puede usar el relave para la fabricación de bloques y como aditivo para estabilizar la subrasante de caminos no pavimentados y, si contiene residuos tóxicos, es necesario la encapsulación o la microencapsulación dependiendo de la composición del mineral, los químicos utilizados en el proceso de extracción de metales, la razón agua/sólido y las características de las partículas sólidas.

**Palabras clave:** Caracterización de relave, geoquímica de relave, Potencial de drenaje ácido, Bloque, Suelo.

## **ABSTRACT**

This research entitled Tailings blocks for roads in mining areas, is of a documentary approach that arises from the alarming increase in tailings that constitutes a problem for mining countries, in Peru it is expected that, by the year 2030, it will reach 4.5 million tons becoming a latent risk of environmental contamination and, to contribute to the solution, the objective of characterizing the tailings was formulated to use it in the production of blocks and in the stabilization of soils of unpaved roads. The methodology consisted in making a systematic review of investigations of objects of similar studies, obtaining as results, that the geochemical, physical-chemical analysis and the potential of acid drainage, is necessary for any type of use of the tailings; After the analysis of the results, it is concluded that there are studies of block design without having thoroughly characterized them, likewise the scarcity of specific studies related to soil stabilization with tailings is evident. However, tailings can be used for block making and as an additive to stabilize unpaved road subgrades and, if it contains toxic residues, encapsulation or microencapsulation is necessary depending on the composition of the mineral, the chemicals used in the metal extraction process, the water/solid ratio and the characteristics of the solid particles.

**Keywords:** Tailings characterization, tailings geochemistry, Acid drainage potential, Block, Soil

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la producción de metales es considerable porque permite construir máquinas que sirven como herramientas para apoyar a la industria, la investigación y son esenciales para la fabricación de productos que contribuyen al bienestar de la humanidad. Latinoamérica, de acuerdo a la tabla, produce el 21% de metales cuyos procesos contaminan el medio ambiente. Se deben tomar medidas para garantizar que la producción de metales y el tratamiento de residuos sean realizados de manera responsable y sostenible.

**Tabla 1.**

*Producción minera a nivel mundial*

<b>Producto</b>	<b>Latinoamérica</b>	<b>Mundo</b>
Oro	1	6
Cobre	2	2
Plata	2	2
Zinc	1	2
Plomo	1	3
Estaño	1	4
Molibdeno	2	4
Cadmio	2	8
Roca fosfórica	2	11
Diatomita	1	5
Indio	1	7
Andalucía/Kyanita y	1	4
Selenio.	1	10

Nota El cuadro ha sido tomado del Anuario minero 2018, elaborado por el Ministerio de Energía y Minas

En el Perú existen 450 minas polimetálicas abandonadas, Romero & Flores (2010) y 150 minas activas, según el Mined (2014) que representan riesgos pasivos de contaminación y, para evitarlas, se recurre a tratamientos químicos con el fin de reducirlas, y a medida que se va investigando, se puede encontrar otros usos como materia prima para la cerámica a base de aluminosilicatos de Mullita (Karhu et al., 2019).

La minería contribuye en la economía del país, y como ya se dijo, es altamente contaminante. En el Perú, existen programas para mitigar la contaminación, una de ellas se inició en el año 2021, integrada por el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales y el Centro de Investigación de Aguas Subterráneas (alemania) y la Minera Los Rosales S.A, quien maneja la gestión de Pasivos Ambientales Mineros (PAMs) y el

reaprovechamiento de residuos mineros. Los Rosales procesa relaves históricos adjudicados por el Estado Peruano y se ha propuesto cerrar los pasivos ambientales de acuerdo a los estándares técnicos actuales a fin de evitar la contaminación del medio ambiente.

La extracción de metales y la gestión de residuos son procesos que pueden tener impactos significativos en la biodiversidad y en las comunidades cercanas a las minas. Es importante que se realice una minería responsable y sostenible para minimizar estos impactos negativos. Ya se están implementando prácticas de tratamiento de residuos adecuadas para evitar la contaminación del suelo y del agua.

El Perú es un país minero, comprometido con la Agenda 2030 que, en lo posible, debemos poner nuestro grano de arena en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenibles. Es obligación de las universidades contribuir, en el cumplimiento de esta agenda, con proyectos que reduzca los riesgos de contaminación de los PAMs.

Sin embargo, en Perú, Cuatro regiones lideran la producción minera en el Perú, estas son: Arequipa, La Libertad, Junín y Áncash. Sin embargo, Puno, Cajamarca, Pasco, Huancavelica e Ica también destacan, pero, en menor proporción en la producción de cobre, plata, oro, zinc, molibdeno, Aluminio.

En el año 2018, la producción de zinc y cobre contribuyó con 2.3 % del PBI del Perú, producido por las regiones mineras, Fidel Sánchez (2022).

Como observamos, el sector minero juega un papel importante en la economía del país pero, contamina el medio ambiente, lo que obliga a poner en práctica estrategias para reducirla, siendo una de ellas reutilizar los pasivos ambientales existentes en los depósitos de relaves. La reutilización, en esta investigación, consiste en usarlo en la fabricación de bloques para que sirva como superficie de rodadura de caminos de bajo volumen de tránsito.

En este sentido, en esta investigación, se caracteriza el relave minero, por ser el residuo sólido que podría contener metales pesados que quedan después de procesar el mineral con procedimientos químicos.

El relave minero puede tener diversos usos, como la edificación de presas, rellenos sanitarios, la fabricación de cemento, de bloques, recuperación de metales valiosos a través de técnicas de lixiviación y también, lo podemos usar como estabilizador de suelos.

Sin embargo, es importante tomar en cuenta que este residuo minero puede contener sustancias tóxicas y peligrosas para la salud y la biodiversidad, por lo que su manejo debe ser cuidadoso y responsable. En este sentido, la investigación se centra en

establecer los pros y los contras de la utilización de bloque de concreto-relave pueda ser usado como superficie de rodadura en caminos de bajo volumen de tránsito con suelos estabilizados con relave.

La costumbre nos hace señalar siempre lo negativo de algo, muy poco se habla de lo bueno que es ese “algo” y, eso sucede con los depósitos de relave. Sólo se mencionan cuando estos, fallan porque pueden causar enormes problemas socioeconómico a las regiones. Estos depósitos siguen y seguirán aumentando porque este sector contribuye al PBI de las naciones. Sin embargo, podemos ver lo bueno en los relaves, consistente en la cantidad de minerales que contiene para usarlo como agregado fino, en el diseño de bloques de concreto con relave. También es bueno para enriquecer la tierra de cultivo con los minerales que poseen.

El problema es que los relaves son pasivos latentes de contaminación que, muchos de los depósitos están en situación de abandono ocupando enormes cantidades de terreno que debería recuperarse. Los relaves son los desechos de la minería que se encuentra en los depósitos como una suerte de cantera listas para explotarse y, en ese sentido, se están haciendo investigaciones para reusarla en provecho de la construcción y de la agricultura.

Para reusarla es necesario realizar un análisis exhaustivo del relave y comprobar que carece de elementos pesados, tóxicos que puedan causar daño a la biodiversidad de los lugares donde se utilice. Esta es la condición necesaria y suficiente para poder usarla en la construcción y en la agricultura.

En la agricultura se puede aprovechar, dosificando adecuadamente este con la tierra, para aprovechar los minerales como aporte de nutrientes de los productos agrícolas. Sin embargo, es importante evaluar la calidad de los relaves y realizar análisis para garantizar que no contengan sustancias tóxicas que puedan afectar los cultivos. En la construcción se están diseñando bloques de concreto-relave para diferentes usos como muro de contención, unidades de albañilería, baldosas, etc.

La adición de relaves dosificados al concreto puede mejorar la resistencia a la compresión del bloque, siempre y cuando se realice correctamente y se cumplan las proporciones adecuadas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que esto puede variar dependiendo de las características específicas de los relaves utilizados.

Cada vez se toma más conciencia del problema del calentamiento global manifestándose, como importancia en todas las investigaciones que contribuyen con lo dispuesto en la reunión de las naciones convocadas por la ONU en el 2015, es decir justificar las investigaciones como cumplimiento de los ya conocidos ODS

La elaboración de bloques de concreto-relave puede contribuir a la gestión sostenible de los residuos mineros y generar productos resistentes para todo tipo de edificaciones. Así mismo la estabilización de suelos con relaves mineros puede presentar riesgos ambientales debido a la presencia de sustancias tóxicas y metales pesados en los relaves. Se deben tomar precauciones adecuadas para evitar la contaminación del suelo y del agua subterránea.

Es por ello que esta investigación está centrada en la caracterización del relave minero porque permite conocer las propiedades físicas, químicas y mineralógicas del material, lo que a su vez ayuda a determinar su potencial impacto ambiental y a definir las mejores estrategias para su manejo y disposición final. La caracterización es necesaria para cumplir con las normas y regulaciones ambientales vigentes en la fabricación de bloques y en la estabilización de los suelos de caminos de bajo volumen de tránsito (BVT).

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Descripción del Problema

El Perú es un país minero y se entiende que la minería contribuye a incrementar el PBI que ayuda a solucionar los problemas y necesidades básicas del país. Pero, sabemos que toda actividad que realiza el hombre en la naturaleza, siempre contamina y debemos solucionarlo o por lo menos mitigarlo.

Los residuos mineros causan conflictos entre los pobladores con las empresas que entorpecen el desarrollo nacional debido a muchos factores, que no se pueden resolver rápidamente por el enorme costo que demandan que muchas veces excede las utilidades de la empresa, Montoya M. (MINAM, 2022)

Los relaves se crean cuando el mineral extraído se tritura y se muele finamente en el proceso de molienda y son bombeados hacia depósitos, que generalmente, se construyen a partir de presas de tierra. Este relave, contiene residuos de las sustancias tóxicas de los químicos utilizados en la “concentración”, para la obtención de metales y minerales.

El problema estriba en las malas prácticas utilizadas en el tratamiento de este lodo, que provoca consecuencias negativas crónicas en la biodiversidad de la zona. Las fallas estructurales de los depósitos de relaves, pueden producir efectos negativos graves, como la inundación de lodo conteniendo materiales tóxicos, afectando la biodiversidad que rodea los depósitos, atentando contra toda clase de vida.

Como ejemplo, tenemos el caso de cerro Tamboraque (Huarochirí), donde se encontraba un depósito que contenía millones de metros cúbicos de lodo y rocas, que estuvo a punto de desplomarse e impurificar el río Rímac y dejar, por varios meses, sin agua a los habitantes de Lima, Cáceres O. (2017)<sup>1</sup> que tuvo que intervenir el Ministro de Energía ordenando la construcción de muros de contención, dispuestos en los tres

---

<sup>1</sup> Ing. Óscar Cáceres, asesor del Comité Nacional de Salud Ambiental del Ministerio de Salud (MINS)

depósitos de Tamboraque y uno en la relavera Triana, este último culminado a fines de octubre del año 2017, Mundo Minero (2017)<sup>2</sup>.

Los afectados directos por el problema de los depósitos de relaves pueden ser las comunidades cercanas a las minas o a los lugares donde se almacenan estos residuos mineros. También pueden ser afectados los ecosistemas acuáticos y terrestres cercanos a estas áreas.

El impacto socioeconómico causado por los depósitos de relaves es significativo porque pueden afectar la salud de las personas que viven cerca de estas áreas, limitar las actividades económicas locales, como la agricultura y la pesca, y disminuir el valor de las propiedades cercanas. Además, si ocurre un desastre relacionado con los depósitos de relaves, puede haber consecuencias aún más graves para las comunidades locales y para la economía en general.

Si no se soluciona el problema de los depósitos de relaves, pueden ocurrir consecuencias graves para el medio ambiente y las personas. Así, los residuos mineros pueden contaminar los ríos, lagos y acuíferos cercanos, lo que puede tener un impacto negativo en la calidad del agua y la salud de las personas. Además, si ocurre un desastre relacionado con los depósitos de relaves, como un colapso o una inundación, puede haber consecuencias aún más graves para las comunidades locales y el medio ambiente. Es por eso que es importante tomar medidas para reducir los riesgos y minimizar su impacto en el entorno y las personas.

Los problemas existen y están latentes, tanto en los depósitos de relaves abandonados como en los activos, y se están afrontando con investigaciones de los estamentos de las universidades con investigaciones cuantitativas, cualitativas y documentales y, en ese sentido, están contribuyendo a la solución, de diferentes maneras, entre ellas de atender los objetivos de desarrollo sostenibles, adoptados por las Naciones Unidas en el año 2015, con propuestas de creación de nuevos materiales, a base del relave de las minas, con la finalidad de reutilizar los relaves para reducir los riesgos de contaminación a causas de estos.

---

<sup>2</sup> Relaves Mineros: Optimizando la Gestión para una industria eco-amigable

Entre estos materiales tenemos bloques, muros de contención y ladrillos diseñados, sólo con relave encapsulado y ladrillos de concreto adicionado con relave de las minas.

Considerando, sólo los bloques a base de concreto y relave y que la composición de la mena y los químicos utilizados para obtener el metal deseado, nos da pie para pensar que la composición de los relaves de las minas, dependen del metal que extraen.

Las investigaciones realizadas por la academia se refieren al diseño de bloques y ladrillos usando relaves de diferentes minas, entonces es válido pensar que existen diferencias en las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales.

Por otro lado, los caminos mineros, además de conectar comunidades, requieren de un estándar de servicio mínimo que garantice un servicio seguro, operativo y que cumpla el ciclo de vida diseñada. Estos, requieren caracterizaciones y diseños muy similares a los caminos viales, en su construcción, aunque a diferencia de estos, la mayoría de los usados en el sector minero no son pavimentados por el bajo volumen de tránsito (BVT).

De lo expuesto se puede realizar un sin número de interrogaciones relacionado con la caracterización de los relaves, de los suelos y la contaminación ambiental.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema General**

¿De qué manera la Caracterización de los relaves de minas ayuda en la superficie de rodadura de caminos de bajo volumen de tránsito no pavimentados?

### **1.2.2 Problemas Específicos**

- a. ¿De qué manera la caracterización geoquímica de los relaves de minas, para fabricar bloques de concreto-relave, se puede usar como superficies de rodaduras en caminos tipo T?
- b. ¿Es posible Caracterizar físicamente los relaves de minas, para fabricar bloques de concreto-relave, para uso en superficies de trochas carrozables?

- c. ¿El potencial de generación de drenaje de ácidos de roca, para fabricar bloques de concreto-relave, influye sobre superficies de rodaduras en caminos tipo T?

### **1.3 Importancia y justificación del estudio**

#### **1.3.1 Importancia de la investigación**

Es importante reducir los riesgos de contaminación por los relaves de las minas porque estos residuos pueden contener sustancias tóxicas y peligrosas para la salud humana y el medio ambiente. Si los depósitos de relaves no están bien gestionados, pueden contaminar los ríos, lagos y acuíferos cercanos, lo que puede tener un impacto negativo en la calidad del agua y la salud de las personas. Además, si ocurre un desastre relacionado con los depósitos de relaves, como un colapso o una inundación, puede haber consecuencias aún más graves para las comunidades locales y el medio ambiente. Por lo tanto, es importante tomar medidas para reducir los riesgos de contaminación y asegurar que los depósitos de relaves se gestionen adecuadamente para minimizar su impacto en el entorno y las personas.

La investigación se torna importante porque contribuye a la solución del problema latente de tener toneladas de relave almacenada abandonadas que constituye un riesgo de contaminación con consecuencias desastrosas para la biodiversidad.

Así mismo, un nuevo bloque fabricado con relaves de una mina, se puede utilizar como adoquín que se pueda tender en los caminos no pavimentados para que ofrezca la garantía de conectividad, con eficiencia. He ahí la importancia de esta investigación.

#### **1.3.2 Justificación del estudio**

Esta investigación se justifica porque se pretende solucionar el problema de los depósitos de relaves que es un problema ambiental y social importante que afecta a muchas comunidades y ecosistemas en todo el mundo. La investigación puede ayudar a comprender mejor cómo se forman y se gestionan los depósitos de relaves, así como las posibles soluciones para minimizar su impacto negativo en el medio ambiente y las personas.

Además, la investigación puede ayudar a identificar mejores prácticas y tecnologías para la gestión de residuos mineros, lo que puede tener un impacto positivo

en la industria minera y en la sociedad en general. Entonces, reducir la cantidad de relave de los depósitos es necesaria porque es parte de una solución efectiva y sostenible de este problema complejo y global.

a) Justificación ambiental

Se justifica el presente trabajo debido a la problemática ambiental en el Perú se viene suscitando desde mucho tiempo atrás, producto de la existencia de pasivos ambientales y relaves mineros que con el transcurso del tiempo han ido sufriendo alteraciones en su estructura, llegando al punto de ser perniciosos constituyéndose en una amenaza latente a la biodiversidad del lugar.

Por ende, con el desarrollo de esta investigación se logrará determinar el aporte técnico, económico, ecológico, teórico, gracias a la descripción de propiedades físicas-mecánicas del bloque o bloqueta elaborados con relaves mineros. Asimismo, el uso de relaves en la elaboración de bloques no ocasionará mayores afecciones al medio ambiente, más bien ayudará disminuir algunos daños causados en la zona, por tanto, la investigación es viable en el aspecto ambiental.

b) Justificación técnica

El sector de la construcción es uno de los motores de la economía de la nación que está en constante crecimiento cuya actividad ha contribuido al calentamiento global. Consciente de problema causado, busca nuevos materiales para contaminar menos y qué mejor que reciclar relave de las minas en la fabricación de bloques. La academia ha respondido con esta cruzada respondiendo a la Agenda 2030 realizada en el año 2015 por la Organización de las Naciones Unidas. Ya se está fabricando artesanalmente, bloques, muros, y ladrillos con relave de minas para construir viviendas y ahora, caminos económicos. Se entiende que existen tantos tipos de relaves como minas de extracción de metales existen y cuya separación del metal de la mena, requiere de procesos físicos y químicos diferentes, por tal motivo se fabrican bloques de propiedades diferentes. Como los bloques, dependen de sus propiedades mecánicas, se debe cumplir con la Norma E.070 para garantizar la seguridad de los caminos construidos, que sea de bajo costo y adecuada para el medio ambiente que, a futuro, permita caminos durables.

## 1.4 Delimitación del estudio

### 1.4.1. Delimitación Teórica

Por tratarse de un estudio cuantitativo-documental, se limitará a analizar investigaciones con objetivos similares sobre las características de los relaves e investigaciones realizadas por la academia, relacionados con las vías terrestres no pavimentadas. En ese sentido la caracterización del relave de las minas se enfoca únicamente para caminos de trocha carrozable, T0, T1, T2 y T3 de la clasificación del Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito (2008)

La tabla 02 delimita las características de caminos no pavimentados de acuerdo al manual referenciado.

**Tabla 2.**

*Características básicas para superficies de rodadura de Carreteras BVT*

<b>Carretera BVT</b>	<b>IMD Proyectoado</b>	<b>Calzada (Metros)</b>	<b>Estructuras y Superficie de Rodadura Alternativas (**)</b>
T3	101-200	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado
T2	51-100	2 carriles 5.50-6.00	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T1	16-50	1 carril (*) o 2 carriles 3.50-6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T0	<15	1 carril (*) 3.50-4.50	Afirmado (tierra) En lo posible mejorada con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado, min. 15 cm
Trocha carrozable	IMD Indefinido	1 sendero (*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada; perfilado y compactado.

*Nota: Manual de Diseño de carreteras BVT*

*Elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones*

*(\*) Con plazoletas de cruce de adelantamiento o volteo cada 500-1000 m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso.*

*(\*\*) En caso de no disponer gravas en distancia cercana la carretera puede ser estabilizado mediante técnicas de estabilización suelo-cemento o cal o productos químicos u otros*

#### **1.4.2. Delimitación Espacial**

La investigación será desarrollada en la biblioteca de la universidad, en laboratorio para opinión de técnicos especialistas y en el centro de estudios donde se analizó las investigaciones.

#### **1.4.3. Delimitación Temporal**

El análisis de la investigación tendrá una duración de 07 meses.

### **1.5. Objetivos de la Investigación**

#### **1.5.1. Objetivo General**

Caracterizar los relaves de minas para fabricar bloques de concreto-relave con la finalidad de usarlo como superficies de rodadura de caminos de bajo volumen de tránsito, aledaños a las zonas mineras, mediante un análisis documental.

#### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- a. Especificar geoquímicamente los relaves de minas para fabricar bloques de concreto-relave a fin de usarlo como superficies de rodaduras en caminos tipo T, aledaños a las zonas mineras.
- b. Describir físico-químicamente los relaves de minas usados en los bloques de concreto-relave a fin de utilizarlo como aditivo en la estabilización de superficies de trochas carrozables, aledaños a las zonas mineras.
- c. Definir el potencial de generación de drenaje de ácidos de roca para fabricar bloques de concreto-relave para usarlo como superficies de rodaduras en caminos tipo T, aledaños a las zonas mineras

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco histórico

La evolución de los caminos empieza con los empedrados que aparece por la necesidad de contar con vías durables para reducir los costos de mantenimiento, que permitan desplazamiento rápido y seguro por ellas en cualquier época del año.

Se pasó de las carretas halados por caballos a automóviles con ruedas por confortantes y se necesitaba vías que permitieran un viaje más placentero. El hombre buscó la forma de mejorar las vías y dejó de usar las piedras encontradas en la naturaleza para tallarlas en forma de paralelepípedos y tenderlos en la vía buscando un mejor desplazamiento de los autos.

#### **Figura 1.**

*Adoquín de concreto*



Nota: Tomado de la revista Hiperpiedras-Adoquín-AU8 Mapa (2020)

Se puede considerar que es el inicio del primer pavimento de adoquines, llamado así por la palabra árabe “ad-dukkân” traducida como “piedra escuadrada”. Estas vías continuaron desde las primeras décadas del siglo XX hasta la fecha. Existen evidencias de caminos, en buen estado, como testimonio de durabilidad y buen desempeño.

Con la industrialización, se empezó a fabricar automóviles que requerían mejores vías y no era práctico ni económico tallar miles de piedras para cubrir los kilómetros de vías que se requerían para su pavimentación. Las piedras fueron reemplazadas por

pavimentos de diferentes materiales como la arcilla cocida, bloques de madera y se generó la idea de un pavimento continuo desarrollándose técnicas de pavimentación con concreto y con asfalto que predominan en la actualidad.

Con la derrota de Alemania y Japón, Europa empezó a reconstruirse utilizando arcilla cocida en la edificación de viviendas. Así empieza la industria del cemento que favorece la fabricación de bloques de concreto que, desde el punto de vista de la durabilidad, sacó ventajas sobre la arcilla. Después de décadas se desarrolló, en Alemania, máquinas vibro-compresoras que lo llevó a la industrialización de bloques de concreto para pavimentos, permitiendo que este sistema se difundiera en todo el mundo.

**Figura 2.**

*Adoquines de arcilla y concreto*



Nota: Tomado de la revista Hiperpedras-Adoquín-AU8 Mapa (2020)

Las investigaciones consultadas sólo determinan los análisis y cálculos de resistencia a la compresión de bloques de concreto-relave, más no precisan su aplicabilidad como superficie de rodadura de caminos no pavimentados.

Los bloques de relaves se utilizan en caminos desde hace varias décadas como una forma de construir carreteras y caminos utilizando los residuos mineros, pero no se ha conseguido evidencias sobre la utilización de bloques de concreto-relave como superficie de rodadura de caminos no pavimentados

La academia y centros de investigación realizan estudios sobre el uso de bloques de relaves en caminos, especialmente en el ámbito de la ingeniería geotécnica y

ambiental. Estos estudios buscan evaluar la estabilidad, resistencia y durabilidad de los bloques de relaves como material de construcción vial.

## **2.2 Investigaciones relacionadas con el tema**

### **2.2.1. Investigaciones Nacionales**

**Romero Huayta, M. J., & Salinas Navarro, M. A. (2020).** Estudio experimental del concreto para adoquines tipo II, adicionando relaves mineros.

Esta investigación consistió en analizar la adición de relave en reemplazo del agregado fino, usando proporciones de 5%, 10%, 25% y 50% para un diseño de  $f'c=380$  kg/cm<sup>2</sup> y un patrón sin relave como muestra de comparación. Se elaboraron 15 adoquines por cada tratamiento y se realizó ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. Se hicieron todos los análisis de laboratorio para hacer el diseño del concreto. El autor concluye que con la adición del 10% de relave se obtiene una resistencia superior a la exigida por la norma NTP.399.611

**Mercado P. & Reyna A. (2020):** Influencia de los porcentajes de los relaves mineros en la resistencia a la compresión en bloques de concreto ensamblables, Trujillo 2019.

La investigación consiste en proponer una alternativa para la elaboración de bloques de concreto, adicionando el 46%, 48%, 50%, 52%, 54% y 56% del agregado fino. Realizó la caracterización del relave, las probetas fueron las convencionales cilíndricas de 4" x 8" llegando a la conclusión de que el diseño óptimo se consigue con la sustitución del 50% del agregado fino, con relave realizando ensayos de resistencia obteniendo, a los 28 días, 151.41 kg/cm<sup>2</sup>. Termina concluyendo que el diseño de bloques adicionado con relave incrementa la resistencia a la compresión del concreto.

**Rojas Huamaní, L. E., & Ventura Huaman, L. E. (2017):** Utilización del relave minero para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable.

La presente investigación consiste en estudiar el uso del relave en el diseño de bloques de concreto (BCE), como aditivo sustituto, en diferentes proporciones. al agregado fino. Se utilizó el relave minero de la C.I.A. Buenaventura. Se realizó tratamientos (T) adicionando relave de 25%, 50%, 75% y 100% en la dosificación de mezcla de concreto para un  $f'c=150$  kg/cm<sup>2</sup>, Los ensayos de resistencia a la compresión

a los 28 días dio como resultado un  $f'c=144.26$  kg/cm<sup>2</sup> la cual corresponde 50% de relave; posteriormente esta dosificación se usó en la elaboración del BCE.

Además, se elaboró 10 BCE con la dosificación de 50% de relave y 10 BCE con la dosificación estándar T0: 0%RM (patrón), y después de todos los análisis de laboratorio y ensayos se obtuvo una resistencia a la compresión ( $f'b$ ) del BCE: 79.43 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo con la NTP 399.602.

**Briones G., & Sangay W. (2020):** Efecto de la dosificación del aglomerante y del tiempo del curado, sobre la resistencia a la compresión del ladrillo fabricado a partir de relaves mineros del distrito de Pulán, Cajamarca, 2020.

Esta investigación busca resolver el uso que se da a los residuos industriales de la minería, que quedan abandonados expuestos, a los fenómenos meteorológicos, como riesgos latentes en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz (Cajamarca).

El investigador propone la fabricación de ladrillos artesanales con el lodo ambiental de la minería, en Cajamarca y se propone estudiar las consecuencias de la dosificación del cemento y del tiempo de curado, sobre la resistencia a la compresión del ladrillo fabricado a partir del relave, del lugar en mención. La dosificación del cemento afectó a la resistencia del ladrillo, dado que, a mayor cantidad de cemento, se obtuvo mayor resistencia a la compresión. La variable tiempo de curado (10, 20 y 30 días) no permitió obtener diferencias significativas para la resistencia a la compresión

**Cárdenas F. (2019):** Propuesta de uso de relaves de mina polimetálica en la fabricación de unidades de albañilería - caso ex unidad minera Mercedes 3.

Esta investigación propone la utilización de relave polimetálico de la Ex Unidad Minera Mercedes 3, para la elaboración de bloques de concreto estructural. Se ha estudiado la contaminación ambiental causado por los depósitos de relave. Se comparan con estudios similares realizados con relave de minería de hierro. Se realizó el diseño por dosificación de material y posteriormente se desarrolla el diseño de mezcla con el método del ACI. Se hicieron todo tipo de estudios de laboratorio y las pruebas mecánicas de resistencia a la compresión. Destaca el nivel de toxicidad del relave y muestra el costo del bloque de concreto con relave y el costo del bloque normal con las mismas características.

**Gutiérrez K. (2022):** Uso del relave en la elaboración de ladrillo maquinado y/o artesanal, obtenido del proceso de concentración metalúrgica de minerales auríferos por gravimetría y flotación - planta Prosuyo S.A.

Esta investigación consiste en mostrar que la fabricación de bloques de concreto hueco y ladrillos sólidos de concreto adicionado con relave, cumplen con la NTP y otras normas similares y que se pueden usar como unidades de albañilería, muros y pisos en edificaciones. También se enfoca en dar una solución a la problemática que tiene la actividad minera, por los residuos tóxicos que dejan en el proceso de flotación sin darle un valor agregado, convirtiéndola en un riesgo ambiental.

### **2.2.2. Investigaciones Internacionales**

A. V. COSTA & A. G. GUMIERI (2021) Interlocking concrete blocks produced with sinter feed tailings Piso intertravado produzido com rejeito de sinter feed : Este documento discute la viabilidad técnica y la ventaja ecológica de utilizar relaves de alimentación sinterizada de la minería de mineral de hierro como agregado en la producción de hormigón, inicialmente para fabricar adoquines prefabricados de hormigón, pero con la posibilidad de extender su uso a otras aplicaciones. Para lograr este objetivo, se analizaron las características físicas, químicas y ambientales de los relaves. Los otros agregados utilizados aquí fueron también caracterizados, y los relaves fueron probados de calidad cuando se utilizan como agregado fino en la producción de morteros, con base en una comparación de su resistencia a la compresión. Los adoquines de hormigón entrelazados fueron fabricadas por una planta de hormigón prefabricado, después de lo cual fueron muestreadas y sometidas a pruebas de resistencia a la compresión, absorción de agua y desgaste abrasivo, de acuerdo con las normas técnicas brasileñas NBR 9780 [33], NBR 12118 [34] y NBR 12042 [35]. Los resultados de estas pruebas indicaron que, en comparación con los valores de referencia, la resistencia a la compresión a los 28 días

**Valencia Rodríguez, J. N., & Loyola Alama, M. F. (2019):** Elaboración de bloques de construcción en base de relave minero, desechos de obras cemento portland, para viviendas de interés social (Guayaquil: ULVR, 2019.).

Se expone el resultado obtenido de una investigación experimental con el propósito de diseñar un prototipo de bloque de construcción utilizando materiales

reciclados provenientes de la minería (relave), desechos de obras de construcción y cemento portland, para implementarlos en viviendas de interés social. Una vez obtenidos los primeros ejemplares fueron sometidos a las pruebas técnicas correspondientes; el prototipo de bloque por sí solo, aún no podría ser recomendado, puesto que cumple parcialmente con la Norma Ecuatoriana de la Construcción; pero no se puede descartar que en combinación con otros recursos de la construcción se puedan fortalecer sus características.

**Zuñiga A. España (2018):** Ciencia e ingeniería de nuevos materiales en la fabricación de ladrillos mejorados tecnológicamente.

Esta investigación se enfoca en la calidad de los ladrillos que se fabrican sin cumplir con las normas técnicas ecuatorianas. Logra su objetivo hallando las mezclas óptimas y optimizando la temperatura de cocción permitiendo mitigar el efecto invernadero que produce el alto consumo de leña que se utilizan en los hornos; También se centra en trabajar con las tierras diatomeas con lodo de relave de mina de oro, previo proceso de geo polimerización.

**Peña V. Chile (2021):** Hacia tecnologías de producción recicladas de relaves.

Este artículo estudia las potencialidades del reciclaje de relaves. Una revisión bibliográfica identifica las ventajas y desventajas del negocio a nivel mundial, los minerales que se extraen de los yacimientos, las tecnologías que se producen con los relaves y los mercados en los que se comercializan. Se presenta un caso práctico en el que se analiza la cantidad de minerales en una muestra, así como los proyectos que se han desarrollado para el reciclaje y transformación en productos tecnológicos. Finalmente, se analizan posibles escenarios y se extraen conclusiones sobre oportunidades de sostenibilidad más eficientes que reduzcan los riesgos ambientales

**Zuoan W. et al China (2021):** Utilización de relaves de minas de oro para producir ladrillos sinterizados.

Trata sobre las limitadas opciones de reciclaje y las grandes reservas de relaves de oro conducen a una serie de problemas sociales y ambientales. El reciclaje de relaves

de oro es útil para aliviar estos problemas. Este estudio investigó la posibilidad de utilizar relaves de minas de oro para producir ladrillos sinterizados. En el proceso de preparación, se introdujo la arcilla como aditivo.

Los efectos del contenido de arcilla, la formación de humedad y los parámetros de sinterización (como la temperatura de cocción y el tiempo de retención) sobre las propiedades de los ladrillos sinterizados se analizaron mediante pruebas de un solo factor, y el proceso de preparación se optimizó en función de los resultados de estas pruebas. Estos resultados indicaron que la resistencia a la compresión, la absorción de agua, la densidad aparente y la pérdida por ignición exhiben diferentes correlaciones con el contenido de arcilla, formando humedad y parámetros de sinterización. De acuerdo con el análisis TG-DSC y XRD, la generación de gas y la descomposición mineral ocurrieron durante el proceso de sinterización. La sanidina, la pirita, la montmorillonita y la calcita se descompusieron para formar hematita y anortita.

En conclusión, los parámetros óptimos del proceso para la preparación de los ladrillos sinterizados son un contenido de arcilla del 35%, una humedad del 25%, una temperatura de cocción de 1030 ° C y un tiempo de retención de 105 min.

**Thejas H. & Hossiney N. (2022):** “Una breve revisión sobre los impactos ambientales y la aplicación de relaves de mineral de hierro en el desarrollo de ladrillos ecológicos sostenibles”.

Estudia el aumento de la actividad minera del mineral de hierro ha llevado a la generación de residuos voluminosos de diversa naturaleza, especialmente durante las diferentes etapas de su extracción y producción. La eliminación inadecuada de dichos residuos causa un impacto negativo en el medio ambiente.

Uno de esos residuos que se genera durante el proceso de beneficio del mineral de hierro son los residuos de relaves de mineral de hierro, que también se denomina IOT. Además, el vertido de IOT en campo abierto crea enormes vertederos. Estos vertederos han sido una preocupación para el medio ambiente y la población humana en sus inmediaciones. Por lo tanto, la necesidad de utilizar eficazmente IOT se ha convertido en uno de los temas de interés para muchos investigadores. Este artículo proporciona una breve revisión de los problemas ambientales causados por la eliminación inadecuada de IOT, y también revisiones sobre los métodos de reutilización de IOT en el sector de la

construcción, que ayuda a aliviar la contaminación ambiental asociada con la eliminación inadecuada de IOT.

Además, la reutilización de IOT en el sector de la construcción reduce la explotación de los materiales vírgenes para la producción de materiales de construcción y, por lo tanto, reduce el agotamiento de los recursos naturales. Sobre la base de las publicaciones y hallazgos existentes, se observó que el uso de IOT para desarrollar bloques de construcción estables utilizando métodos no convencionales mostró un gran potencial y un rendimiento mejorado, en comparación con materiales convencionales como los ladrillos cocidos con arcilla.

**Sr. Beulah,<sup>1</sup>M. R. et al (2021):** Ladrillos de próxima generación basados en residuos mineros: un estudio de caso de relaves de mineral de hierro, barro rojo y utilización de GGBS en ladrillos. La utilización de desechos mineros como material de construcción en la industria de la construcción conjetura a conceptos ambientales y sostenibles en ingeniería civil. La amenaza ambiental potencial planteada por los desechos mineros, así como una creciente conciencia social de la necesidad de tratar eficazmente los desechos mineros, ha elevado la importancia del tema. La presente investigación propone un método de producción de ladrillos que es rentable y ambientalmente benigno. La investigación se basa en la geopolimerización, conocida por ahorrar energía al obviar la cocción de hornos a alta temperatura y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La metodología abarca la mezcla de lodo rojo y relaves de mineral de hierro en el rango de 90% a 50% con una disminución de 10% con GGBS en el rango de 10% a 50% con un incremento de 10%. Las materias primas y los compuestos desarrollados han sido probados según las normas indias y ASTM. Además de las pruebas relacionadas con las propiedades físicas y mecánicas, se han realizado pruebas XRF, XRD y SEM para examinar varios problemas relacionados. Según el análisis de resultados, los valores de resistencia a la compresión mostraron diferencias notables en el caso de IOT y ladrillos de barro rojo, con ladrillos basados en IOT que muestran mejores resistencias a la compresión.

## **2.3 Estructura Teórica y Científica que Sustenta el Estudio**

### **2.3.1 Caracterización del relave**

El relave es un conjunto de desechos de procesos mineros de la concentración de rocas molidas, agua y minerales. La composición física del relave depende del tipo de

mineral y el método de extracción. Generalmente contiene partículas finas de arena, limo y arcilla con propiedades diferentes. El relave contiene bajas concentraciones de metales pesados (Pb, Cu, Hg, As) que representan un riesgo ambiental y de salud.

Es posible fabricar bloques de concreto con relave, aprovechando sus propiedades físicas y mecánicas considerando el tipo y cantidad de relave, así como el método de construcción y las normas técnicas aplicables. Los bloques para caminos pueden variar en tamaño dependiendo del fabricante y el país donde se produzcan. Sin embargo, en general, los bloques para pavimentación de caminos suelen tener un tamaño de entre 8 y 10 centímetros de alto, 20 a 25 centímetros de largo y unos 10 a 15 centímetros de ancho. Estas dimensiones pueden variar un poco según el tipo de bloque y la región donde se utilice.

Para fabricar un bloque con relave no se debe de perder de vista que, estos, son residuos mineros que se generan durante el proceso de extracción de minerales que son utilizados como materia prima en la fabricación de bloques de construcción. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso de relaves en la fabricación de bloques puede ser un tema controvertido debido a los posibles riesgos para la salud y el medio ambiente asociados con su manejo y disposición.

Por lo tanto, es importante estudiar y caracterizar los relaves realizando pruebas adecuadas para verificar la seguridad y calidad de los bloques que contienen relaves, antes de utilizarlos en proyectos de construcción

Para diseñar un bloque de relave, se debe caracterizar la calidad del relave que consiste en los siguientes pasos:

- Caracterizar geoquímicamente el relave
- Analizar granulométricamente
- Caracterizar fisicoquímica
- Analizar químicamente
- Encapsular los metales pesados en el relave.

Luego, la caracterización geológica de los relaves mineros implica la evaluación de las características físicas, químicas y mineralógicas de los materiales de desecho. Esto puede incluir la identificación de la presencia de minerales valiosos o contaminantes, así como la determinación de las propiedades físicas y químicas del material.

### **2.3.1.1 Especificación geoquímica de los relaves mineros**

De acuerdo al Ministerio de Energía y Minas del Perú, (1995 pp. 13-18). las características químicas del relave varían de un yacimiento a otro, debido a que dentro del ciclo de vida de la mina se puede explotar varios depósitos, cada uno con propiedades geoquímicas diferentes, ocasionando sus propias características químicas. Estas características generales son:

**Efluentes Líquidos de Flotación** cuyos residuos de reactivos utilizados en flotación acompañan tanto a los relaves sólidos como a los líquidos descargados.

**Efluentes Cianurados** como ya se expresó, las características de los relaves son diferentes, de un yacimiento a otro, debido a que la explotación se realiza con diferente geoquímica durante toda la actividad de la mina. Para poder garantizar el eficiente almacenamiento del relave se, recurre a diferentes formas de hacerlo teniendo cuidado de contaminaciones futuras.

Esta caracterización implica la evaluación de la concentración y distribución de los elementos químicos presentes en los materiales de desecho. Esto puede incluir el análisis de los niveles de metales pesados y otros contaminantes.

Es importante realizar una adecuada caracterización geológica y química de los relaves mineros para garantizar que se manejen adecuadamente y se minimice su impacto en el medio ambiente y la salud humana.

Así, la relación agua/sólidos (a/s) determina la estabilidad y el comportamiento del relave. A mayor cantidad de agua, el lodo se desplaza fácilmente constituyendo un peligro de desborde, pero cuanto menor sea el agua presente en los relaves, este no fluye, no se desplaza y se reduce el riesgo de desbordes y aumenta la seguridad. Lo negativo se manifiesta en el incremento de los costos al requerir maquinarias y energía adicionales, Anddes Asociados S.A.C (2016).

De acuerdo a la fluidez del lodo (relave) se puede clasificar en cuatro categorías:

#### **a) Relave en pulpa:**

El relave en pulpa consiste en la disposición de residuos mineros en forma de pulpa, mezclados con agua, para su almacenamiento o transporte.

**b) Relave espesado:**

El relave espesado es un proceso en el cual se aumenta la concentración de sólidos en la pulpa de relave, reduciendo la cantidad de agua presente y facilitando su disposición o transporte

**c) Relave filtrado:**

El relave filtrado es un proceso en el cual se separan los sólidos del agua presente en la pulpa de relave mediante filtros, obteniendo un residuo sólido seco y un agua más limpia que puede ser reutilizada.

**d) Relave en pasta:**

El relave en pasta es un método de disposición de residuos mineros en forma de una mezcla espesa y viscosa, con alta concentración de sólidos, lo que permite su almacenamiento o disposición de manera más segura y controlada. Es un intermedio entre espesado y filtrado presentando, Sernageomin (2007)

Para Sernageomin (2007), el lodo intermedio presenta un contenido de agua inferior al 30% y para generarlo se aplican espesadores de alta compresión dependiendo del metal de extracción de la mina. La caracterización del relave, el agua, el lugar donde se encuentra el depósito y las maquinarias determinan el costo de obtención de este tipo de lodo.

La caracterización del relave y su comportamiento depende de la relación a/s y de las características de las partículas sólidas.

- Los relaves en pulpa requieren una estructura adecuada que pueda contener el flujo, considerando la baja pendiente, indefinidamente.
- Los relaves filtrados tienen una deposición autosostenida, y no está afectada por la gravedad, previa compactación.
- Se debe construir depósitos especiales para los relaves espesados porque escurren por gravedad.
- Para la construcción de depósitos para los relaves en pasta, deben considerarse la topografía y clima cuya condición meteorológica del lugar sea de escasa

precipitación o nula y, contenido de humedad, que permitan su acopio sin diques de retención.

- La caracterización de los relaves de las minas determina el diseño del depósito para almacenarlos reduciendo los riesgos ambientales considerando la ubicación, Golder Associates (2013).
- Es recomendable que la presa sea construida en la cercanía a la planta para evitar, en lo posible, contaminación de suelo, agua y aire. La LEY N° 31211-2021 garantiza la seguridad de las personas y el medio ambiente.

### **Características Químicas del Relave:**

Según el Servicio Nacional de Geología y Minería-Chile (2017), un depósito de relaves es estable químicamente si no genera contaminantes que lleguen al ecosistema circundante ni a las personas, por ningún mecanismo existente.

La estabilidad química de los relaves se refiere a su capacidad para mantener sus propiedades químicas y evitar la liberación de sustancias tóxicas al medio ambiente, ya sea por el viento o agua debido al potencial de drenaje de las rocas que contienen.

El relave de mina es un residuo resultante del procesamiento de minerales. Sus características químicas varían dependiendo de los minerales presentes en la mina y los procesos de extracción y tratamiento utilizados. En general, el relave de mina puede contener metales pesados, compuestos tóxicos, pH ácido o alcalino, y altas concentraciones de sólidos en suspensión. Es importante gestionar adecuadamente el relave de mina para prevenir la contaminación del agua y el suelo. Sin embargo, en general, los relaves pueden contener altas concentraciones de metales pesados y otros componentes tóxicos, como cianuro o ácido sulfúrico.

Estos residuos, al presentar un pH ácido o alcalino, puede afectar la calidad del agua y del suelo cercano a las operaciones mineras. Entonces, es necesario tener un plan de gestión de manejo de este residuo para minimizar los impactos ambientales y proteger la salud humana.

El pH del relave de mina puede tener un efecto significativo en los suelos y en el medio ambiente en general. Si el pH del relave es muy ácido o muy alcalino, puede causar la acidificación o alcalinización del suelo, lo que puede tener consecuencias graves para la vegetación y la fauna local.

Si el relave tiene un pH bajo (ácido), puede liberar metales pesados y otros compuestos tóxicos que se encuentran naturalmente en la mina. Estos metales pueden ser absorbidos por las plantas y acumularse en el suelo, lo que puede afectar negativamente la calidad del suelo y reducir la capacidad de las plantas para crecer y desarrollarse.

Por otro lado, si el pH del relave es alto (alcalino), puede causar la precipitación de sales y minerales en el suelo, lo que puede reducir la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes esenciales para las plantas.

En resumen, el pH del relave de mina es un factor importante a considerar en la gestión de residuos mineros, ya que puede tener efectos significativos en los suelos y en el medio ambiente en general.

En las siguientes tablas se muestran las composiciones mineralógicas de relave de diferentes minas, que fueron sometidas a diferentes análisis.

**Tabla 3.**

*Análisis Químico de Relave Minero-Quiruvilca*

<b>Metal</b>	<b>Cantidad</b>
Au - Oro (g/tm)	2.36
Au - Oro (oz/tc)	0.07
Ag - Plata (g/tm)	107.74
Ag - Plata (oz/tc)	3.14
Cu - Cobre (%)	0.5
Pb - Plomo (%)	0.32
Zn - Zinc (%)	0.45
Fe - Hierro (%)	27.83
As - Arsénico (%)	0.29
Sb - Antimonio (%)	0.02

Nota: Elaborado por G&S Laboratory SRL (2020)  
Vía Seca – Volumetría – Absorción Atómica

Este cuadro indica que la extracción principal de la mina está orientado a la obtención de la plata y, además, se observa la presencia de residuos tóxicos pesados.

En la caracterización geoquímica de un relave de mina se pueden mostrar diversas características, como la presencia de metales pesados, la acidez o alcalinidad del material y su potencial para generar drenaje ácido de roca, la mineralogía y textura del relave, cantidad de metales, porcentajes, entre otros. Todo esto es importante para evaluar el riesgo ambiental asociado al depósito de relaves y determinar las medidas necesarias para su gestión adecuada.

En la tabla 4 se muestra la caracterización geoquímica hecha por Romero y Flores en su investigación y nos muestra los metales encontrados en dicho análisis.

**Tabla 4.**

*Caracterización geoquímica de un relave*

Muestra	Ag ppm	Al %	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca %	Cd ppm
	26.9	5.99	> 10'	200	0.5	11	0.76	0.5
P - 190	Mn ppm	Mo ppm	Na %	Ni ppm	P ppm	Pb ppm	S %	Sb ppm
	564	1	0.015	1	680	4970	1.67	221
Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe %	Ga ppm	K %	La ppm	Mg %	Sc ppm
3	13	112	6.53	10	2	10	0.51	7
Th ppm	Ti %	Tl ppm	U ppm	V ppm	W ppm	Zn ppm	Au ppm	Sr ppm
<20	0.24	<10	<10	77	10	225	0.514	69

Nota: Indica las cantidades y porcentajes de los residuos dejado en la extracción de la Plata, fue realizado por Romero y Flores (2010) para el Ministerio de Energía y Minas

En un relave de mina pueden estar presentes varios metales, dependiendo del tipo de mineral explotado y del proceso de beneficio utilizado. Algunos de los metales más comunes encontrados en los relaves mineros incluyen: cobre, plomo, zinc, hierro, aluminio, oro y plata. También pueden estar presentes otros metales como el mercurio, arsénico, cadmio, níquel y cromo, entre otros. La presencia de estos metales en los relaves es importante para evaluar su potencial impacto ambiental y para diseñar medidas de gestión adecuadas para minimizar este impacto.

La Tabla 5 muestra los elementos metálicos presentes en un relave minero, donde indica que existe una considerable concentración Arsénico - As (más de 10 000 ppm)

**Tabla 5.**

*Metales presentes en relaves mineros*

Metales	LDM	Unidades	ECA suelo comercial Industrial	Resultados
Plata (Ag)	0.07	mg/kg	5100	40.27
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg		1396
Arsénico (As)	0.1	mg/kg	140	1076.5
Boro (B)	0.2	mg/kg		<0.2
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	2000	65.4
Berilio (Be)	0.03	mg/kg	150	0.16
Calcio (Ca)	4.7	mg/kg		>40000
Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	22	100.91
Cerio (Ce)	0.2	mg/kg		8.6
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	20	17.74
Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	1.4	5.59
Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	36	1426.9
Hierro (Fe)	0.2	mg/kg		>20000
Mercurio (Hg)	0.1	mg/kg	24	4.2
Potasio (K)	4.3	mg/kg		428.6
Litio (Li)	0.3	mg/kg		3.7
Magnesio (Mg)	4.4	mg/kg		3942.9
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg		1493.8
Molibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	10	30.8
Sodio (Na)	2.3	mg/kg		105.9
Níquel (Ni)	0.06	mg/kg	35	17.7
Fósforo (P)	0.3	mg/kg		604.5
Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	1200	>5000
Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg		147.8

Nota. Elaborado por Soto (2017) donde muestra los resultados de prueba de laboratorio

Los relaves no contienen los residuos de todos los minerales, sino solo de aquellos que se procesan en la planta de concentración. Los minerales que no se procesan quedan en la roca original y no forman parte del relave.

El análisis geoquímico del relave puede variar según la mineralogía, la composición y el origen de cada mina, no se puede decir que el relave de una mina contiene todos los residuos de minerales y metales. Estos dependen de los siguientes factores:

- La mineralogía y la composición de la roca extraída de la mina.
- El origen y el tipo de yacimiento que se explota.
- El proceso de flotación o lixiviación que se utiliza para separar el mineral de interés.
- Las condiciones ambientales y el manejo de los depósitos de relaves.

### **2.3.1.2 Descripción físico química**

La caracterización físico-química del relave se refiere al análisis de sus propiedades físicas y químicas, como la composición mineralógica, la granulometría, la densidad, el pH, la concentración de metales y otros elementos químicos presentes.

#### **Relaves solidos**

El peso específico de los minerales contenidos en el relave afecta la distribución de los metales. Así, las partículas más pesadas van hacia el fondo desplazando a las partículas finas hacia la superficie. El tamaño y densidad de la partícula influyen en la concentración de metal sólido dentro del depósito de relaves, en su permeabilidad y la retención de humedad por largo tiempo, afectan la movilidad de cualquier especie metálica soluble, así como la generación y movilidad de productos de la oxidación de sulfuros. Luego, el tamaño de la partícula determina el contenido metálico de los sólidos ultrafinos que se encuentran en suspensión en el agua de los relaves.

#### **Efluentes líquidos de flotación**

Los efluentes líquidos de flotación son residuos líquidos generados en el proceso de flotación utilizado en la industria minera para separar minerales valiosos de los minerales no deseados.

Hay que tener en cuenta el contenido de sólidos totales en suspensión consistente en la cantidad de partículas sólidas presentes en un líquido, que están suspendidas y no

se han asentado en el fondo. Estos sólidos flotantes se deben reducir manteniéndolo más tiempo en el depósito recirculando el agua de proceso y, a su vez, regulando el pH (cal) que ayudan a la reducción de las partículas suspendidas y/o usando, también floculantes como polímeros sintéticos (Fe, Al, sales). Todo esto genera residuos de reactivos, residuos de cal, sulfitos y sulfatos de diferentes metales, y otros compuestos químicos. Los reactivos tóxicos de flotación son los del cianuro, arsénico y selenio (sólo si están presente en el mineral) que pueden ser solubles cerca del pH neutro.

### **Efluentes cianurados**

Los efluentes cianurados son aguas residuales que contienen cianuro, un compuesto químico tóxico. El cianuro puede neutralizarse mediante diferentes métodos, como la oxidación con hipoclorito de sodio, la precipitación con sales de metales pesados o la degradación biológica. El más utilizado es el cianuro de sodio en la extracción de oro y plata. Para la extracción del oro y plata se recurre al cianuro de sodio, que es usado como lixivante en la mayoría de las operaciones y muchas veces, como un reactivo en los procesos de flotación.

En estos relaves, el cianuro se encuentra en estado libre  $\text{CN}^-$  y en ácido cianhídrico asociado con metales de diferentes solubilidad y toxicidad. El cianuro libre, químicamente inestable, se refiere al cianuro que está presente en una muestra sin estar ligado a otros compuestos. Es altamente tóxico y puede causar graves daños a la salud humana y al medio ambiente. El cianuro libre, por ser inestable, no es bio-acumulable ni persiste en el ambiente.

La producción de cobre en TMF (toneladas métricas finas) fue de 2.1 millones el 2020, Boletín Minero (feb. 2021) y sólo en enero del año 2022 la producción minera se detalla en el cuadro siguiente:

**Tabla 6.**  
*Producción minera metálica*

Metal	Enero		
	2021	2022	Var. %
<b>Cobre (TMF)</b>	176,737	199,255	<b>12.7%</b>
<b>Oro (g finos)</b>	7,577,176	7,915,894	<b>4.5%</b>
<b>Zinc (TMF)</b>	122,660	106,480	<b>-13.2%</b>
<b>Plata (kg finos)</b>	254,913	254,326	<b>-0.2%</b>
<b>Plomo (TMF)</b>	20,943	20,568	<b>-1.8%</b>
<b>Hierro (TMF)</b>	1,129,003	795,348	<b>-29.6%</b>
<b>Estaño (TMF)</b>	2,101	2,410	<b>14.7%</b>
<b>Molibdeno (TMF)</b>	2,727	2,733	<b>0.2%</b>

Nota: Elaborado por la Dirección de Promoción Minera que resalta la variación de 12.7% del cobre

Como muestra, se considera solamente, la producción de cobre y que, en el año 2022, según Rumbo Minero (2022) el mundo produciría 22 millones de toneladas de cobre, inferimos que todo el proceso de extracción de este mineral ha generado millones de toneladas de relaves que han sido almacenadas en depósitos con los riesgos de contaminación, ya explicadas.

Según Cruz Eva (2022), una mina produce 25 mil toneladas de relaves por día, 750 mil por mes, 9 millones por año y considerando la presencia de 150 minas en operación, la cifra aumenta a 900 millones de toneladas de residuos mineros, Estos relaves se encuentran distribuidos, en los 52 ríos de la costa peruana, en un 75% de metales pesados, como es el caso del río Rímac, que registra elevada cantidad de plomo, hierro y manganeso, sobre todo. Sin embargo, la UNMS manifiesta que el relave utilizado como aditivo en la fabricación de unidades de albañilería es inocuo y apto para su uso masivo como material de construcción.

Como parte de la responsabilidad social del sector minero, deben de contribuir en la gestión de los relaves equipando plantas transformadoras de relaves que redunde en beneficio de la biodiversidad y de las mismas empresas.

El estado de abandono de las operaciones y el deterioro de los diques de las relaveras, generan riesgos pasivos que amenazan al entorno de los depósito, que en algunos casos se filtran llegando a los ríos. El abandono de los depósito, a través de los

años, se deterioran, tal como el caso del río Moche por desborde y/o ruptura de los diques. (Actividad Minera en la Cuenca del Río Moche, 1997, cap. 5).

Sin embargo, la producción mundial de cobre, oro, plata, zinc, hierro y molibdeno registraron un crecimiento de 5%, 0.9%, 0.7%, 4%, 2.9% y 1%, respectivamente, pero, la producción de estaño y plomo se vio reducida en el mismo año (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

### **Consideraciones para el diseño de bloque concreto-relave**

Los bloques de concreto son materiales prefabricados donde se utilizan como una alternativa de sustitución a los ladrillos de arcilla. Según NTP 399.602, (2017, p.3), el bloque de concreto se define como la pieza prefabricada a base de cemento, agua y áridos finos y/o gruesos, naturales y/o artificiales con o sin aditivos, incluidos pigmentos de forma sensiblemente prismática con dimensiones modulares y ninguna mayor a 60 cm.

Aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipulación durante la operación de asentado es considerado como bloque

Los bloques de concreto con relave dependerán de la cantidad y tipo de materiales utilizados en su fabricación, así como de la proporción de cada uno. Sin embargo, algunos de los componentes comunes incluyen cemento Portland, agua, arena, grava y relave minero triturado. Es importante tener en cuenta que la fabricación de bloques de concreto con relave debe seguir las normas técnicas y regulaciones para garantizar su seguridad y calidad.

El diseño de un bloque de concreto con relave minero depende de varios factores como, la dosificación de relave minero que se va a utilizar y la resistencia que se desea obtener.

Las propiedades físicas y químicas de los componentes de los relaves son diversas dependiendo del metal que explota la mina. Al ser almacenados en los depósitos significan un problema grave para la población, flora y fauna; puesto que, según Espín, Jarrín y Escoba (2017) “los relaves impactan negativamente en fase sólida (los sólidos sedimentados en profundidad) y en su fase acuosa (las aguas de salida del depósito de relaves)”.

El aluminio es uno de los metales más importantes en la industria. Se encuentra en casi todas las rocas, en forma de aluminosilicatos siendo la principal fuente de

aluminio, la bauxita, compuesta por óxido de aluminio, y, en menor medida, por óxido de hierro y sílice.

Debido a la alta contaminación en la extracción de aluminio y como consecuencia la formación del lodo rojo, la academia está priorizando la calidad de los procesos para la utilización del lodo rojo y las colas de oro para bloques de alta porosidad (Kim et al., 2018). El lodo rojo se puede utilizar en la fabricación de bloques, ya que puede actuar como un aglutinante; sin embargo, el sodio contenido en el lodo rojo puede causar problemas ambientales, como la salinización del suelo y la contaminación de las aguas subterráneas, pero, el sodio no anula la capacidad del lodo rojo como aglutinante y puede afectar negativamente las propiedades físicas de los bloques fabricados con lodo rojo, Gutiérrez R. (Ciencia y Salud, 2020).

Según Kurniawan, TA.; Chan, GY.; Lo, WH.; Babel, S. (2006), El lodo rojo es un subproducto del proceso Bayer, que se utiliza para obtener alúmina a partir de la bauxita en la producción de aluminio. Se denomina rojo por la presencia, en un 60% de la masa de residuo, causa problemas de salud y cuando ocupa una superficie, esa zona ya no es apta para edificar ni para cultivar.

Es importante que, antes de ser usados los relaves en la fabricación de bloques se debe de tratar el material contenido en el relave, para ello existentes diversos método y tecnologías que ayudan a reducir el grado de contaminante que contiene, en especial metales pesados y aguas ácidas.

Previo a la fabricación de los bloques con relaves se debe analizar los minerales que contiene el concentrado y para ello se idearon diversos método y tecnologías que ayudan a reducir el grado de contaminante químico, en especial metales pesados y aguas ácidas, para ser reciclados.

Dentro de estos métodos, tenemos:

1. Flores et al. (2017) patentan el “Método de Remediación MRTI-SLFCH”, que consiste en eliminar o reducir la contaminación en un sitio afectado. Hay diferentes métodos de remediación, como la excavación y eliminación del suelo contaminado, la biorremediación y la fitorremediación.

Cada método se utiliza dependiendo de las características del sitio y la contaminación presente.

La detoxificación de contaminantes en relaves metalúrgicos implica el tratamiento de los residuos para reducir o eliminar la concentración de sustancias tóxicas presentes, utilizando técnicas como la neutralización química, la precipitación, la adsorción u otros métodos para transformar o inmovilizar los contaminantes.

2. Otro método consiste en usar la dolomita, así lo sustenta Romero, Flores y Arévalo (2010) el tratamiento de remediación con dolomita es un método alternativo de precipitación y purificación de estos efluentes, con la finalidad de reducir la concentración de metales pesados.
3. Asimismo, en un estudio realizado por Zhu et al., (2017) preparó ladrillos permeables usando el método de sinterización parcial de agregados, utilizando ganga y relaves como agregados y aglutinante, respectivamente, añadiendo insumos para darle consistencia y puedan cumplir con los estándares del mercado, Weshi et al., (2018); emplearon un acelerador de endurecimiento con trietanolamina y un agente impermeabilizante de emulsión de ácido esteárico. Para darle un aislamiento térmico, los ladrillos fueron fabricados con gel espuma utilizando relaves de hierro como materia prima, Paladinez (2017).

### **Relave de minerales**

El relave está compuesto por minerales y metales y las concentraciones de estos minerales y metales suelen ser muy bajas en comparación con los concentrados de metales, lingotes o barras metálicas, extraídos.

La extracción de mineral se refiere a la obtención de la roca que contiene los minerales de interés, mientras que la extracción de metal implica procesar y refinar ese mineral para obtener el metal en forma pura o en una forma conveniente para industria.

La composición de la mena de una mina, puede variar dependiendo del tipo de mineral que se esté extrayendo. En general, la mena puede estar compuesta por uno o varios minerales que contienen el metal o los metales de interés.

La mena se procesa para extraer los minerales o metales de interés en etapas como trituración, molienda, flotación, lixiviación u otros métodos dependiendo del tipo de mena y los minerales que contiene. El objetivo es separar los minerales valiosos de los no

valiosos y obtener un concentrado o producto final con altas concentraciones de minerales o metales de interés.

### **Flotación**

El proceso de flotación es un método utilizado en la industria minera para separar minerales valiosos de los minerales de desecho, mediante la creación de burbujas de aire que se adhieren a las partículas de mineral y las hacen flotar en la superficie, mientras que las partículas no deseadas se hunden.

Los efluentes líquidos son generados en el proceso de flotación, ya que se utilizan reactivos químicos y agua para separar los minerales valiosos de los minerales de desecho. Estos efluentes pueden contener sustancias tóxicas o contaminantes que deben ser tratados antes de su liberación al medio ambiente. Estos contienen sólidos en suspensión, coloidales, cationes y aniones disueltos, etc.

Es importante gestionar responsablemente, los efluentes del proceso de flotación se gestionan a través de la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, como la sedimentación, la filtración, la oxidación o la adsorción, para eliminar o reducir los contaminantes presentes antes de su liberación al medio ambiente, asegurando así el cumplimiento de las regulaciones ambientales.

El relave es la consecuencia de moler la roca y consiste en extraer la mena que contiene el mineral que se busca.

Sólo el 1% corresponde al metal de interés económico que se desea obtener y se consigue por procesos de flotación, y se le denomina “el concentrado” (no es puro) con una aglutinación alta, entre 20 y 30%, que se puede vender como Concentrado. Para obtenerlo en un alto grado de pureza, se somete a procesos metalúrgicos.

El resto es el relave, y se debe depositar de forma segura y ambientalmente responsable. Este, no es tóxico, sólo es roca molida y agua, lodo. Se vuelve tóxico, cuando los relaves, que contiene materiales pesados, entran en contacto con la humedad o precipitaciones meteorológicas y se pueden transportar disueltos en agua contaminando la biodiversidad.

El ácido se genera por oxidación espontánea, natural, de los minerales contenidos en el relave, tal como cobre, sulfitos, sulfatos y otros. Siguen el proceso químico; metal y agua da óxido, óxido y compuestos sulfonados da ácidos y así sucesivamente.

## **Características Físicas del Relave Minero**

Según el Servicio Nacional de Geología y Minería- Chile (2017), la exigencia de Estabilidad Física del relave consiste en garantizar que los depósitos de residuos mineros no sufran colapsos o deslizamientos que puedan poner en peligro el medio ambiente y las comunidades cercanas.

El relave minero puede tener una variedad de características físicas, dependiendo del tipo de mineral que se esté procesando y del proceso de extracción utilizado. Sin embargo, algunos de los rasgos comunes que se pueden encontrar en el relave son su textura granular y suelta, su coloración variada, debido a la presencia de minerales diferentes, y su contenido de agua variable. Además, el relave puede contener partículas de diversos tamaños, incluyendo partículas finas y gruesas, así como fragmentos de roca más grandes.

El comportamiento de los relaves está determinado por sus propiedades y naturaleza del depósito. La deposición del relave da lugar a dos tipos:

- a. Los relaves arenosos** son residuos sólidos que quedan después de procesar minerales. Estos residuos suelen contener partículas finas de roca y otros materiales que no se han podido separar durante el proceso de extracción. Los relaves arenosos pueden ser un problema ambiental si no se gestionan adecuadamente, ya que pueden contener sustancias tóxicas y afectar la calidad del agua y el suelo cercano a las operaciones mineras.

Se puede fabricar bloques con relave arenoso. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el relave arenoso puede tener propiedades diferentes en comparación con otros tipos de relave. Se debe obtener más información específica sobre la fabricación de bloques con relave arenoso y asegurarse de que cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad necesarios.

- b. Los relaves limosos** son residuos sólidos que se generan durante el procesamiento de minerales, y que contienen una alta proporción de partículas finas y lodosas. Estos residuos suelen ser el resultado de la separación de minerales a través de procesos de flotación o sedimentación. Los relaves limosos pueden contener sustancias tóxicas y también, representan un riesgo ambiental si no se gestionan adecuadamente, porque afecta la calidad del agua y el suelo donde opera la minera.

También, es posible fabricar bloques con relave limoso teniendo en cuenta las mismas recomendaciones que el relave arenoso porque puede afectar su comportamiento y características de resistencia.

### **Granulometría:**

La granulometría de un relave puede variar dependiendo del proceso de producción al cual esté asociado. En general, los relaves suelen tener una granulometría fina, con partículas de tamaño menor a 0,074 mm. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la granulometría puede variar considerablemente dependiendo de los procesos involucrados en la producción del relave y las características del mineral que se está procesando.

Así, por ejemplo, en el proceso de producción de cobre, el mineral se somete a una serie de procesos físicos y químicos para separar el cobre de otros minerales y materiales no deseados. Durante este proceso, se generan relaves que suelen tener una granulometría fina, con partículas de tamaño menor a 0,074 mm. Estas partículas finas pueden contener trazas de cobre y otros metales valiosos, por lo que a menudo se utilizan tecnologías avanzadas para recuperar estos metales del relave.

La granulometría determina la calidad de los residuos, especialmente sobre el tamaño de las partículas sólidas.

**Tabla 7.**

*Granulometría: Porcentaje de paso que determina la calidad del material.*

<b>Granulometría</b>	<b>% De paso</b>	<b>Calidad</b>
Gruesos	0 - 15 % menor de 74 ppm (micrómetro)	Buenos
Medios	15 - 50% menor de 74 ppm	Generalmente bueno
Finos	50 - 80 % menor de 74 ppm	Cuestionables
Limos	100% menor de 74 ppm y 25% menor de 200 ppm	Almacenado por presas convencionales

Nota. Fue elaborado por Lique (2014) donde muestra el rango de tamaño que deben tener los materiales para ser ubicados en determinada categoría

### **Estabilización física del relave**

Para la estabilización física de un bloque de relave, se pueden aplicar diferentes técnicas, como:

- a. **Consolidación del bloque:** Consiste en reforzar la estructura del bloque de relave mediante la compactación o consolidación del material. Esto puede incluir el uso de maquinaria pesada para compactar los desechos y mejorar su estabilidad.
- b. **Construcción de estructuras de contención:** Se pueden construir muros o estructuras de contención alrededor del bloque de relave para evitar su colapso. Estas estructuras pueden estar hechas de concreto, mampostería o materiales geosintéticos.
- c. **Drenaje y control del agua:** Es importante controlar el flujo de agua en el bloque de relave para evitar la saturación y el debilitamiento del material. Se pueden utilizar sistemas de drenaje, como canales o tuberías, para redirigir el agua y mantener la estabilidad del bloque.

Se debe tener en cuenta que la elección de la técnica dependerá de las características específicas del bloque de relave y las condiciones del sitio.

### **Estabilización física de un bloque de concreto-relave**

Para la estabilización física de un bloque de concreto-relave, se pueden considerar las siguientes técnicas:

1. **Reforzamiento estructural:** Se pueden añadir elementos de refuerzo, como barras de acero, a la estructura del bloque de concreto-relave para aumentar su resistencia y estabilidad. Esto puede implicar la instalación de refuerzos internos o externos, como columnas o vigas adicionales.
2. **Inyección de materiales:** Se puede utilizar el proceso de inyección de materiales para rellenar y compactar las grietas o cavidades en el bloque de concreto-relave. Esto ayuda a mejorar su resistencia y evitar posibles desprendimientos.
3. **Uso de anclajes:** Los anclajes son elementos que se insertan en el bloque de concreto-relave y se fijan a estructuras adyacentes, como rocas o suelos estables. Esto proporciona un anclaje adicional para mantener el bloque en su lugar y prevenir movimientos no deseados.

## Consideraciones para estabilizar físicamente un bloque de concreto-relave

Para la estabilización física de un bloque de concreto-relave destinado a caminos, se pueden considerar lo siguiente:

1. **Compactación del bloque:** Es importante asegurarse de que el bloque de concreto-relave esté debidamente compactado para garantizar su estabilidad y resistencia. Se puede utilizar maquinaria adecuada, como rodillos compactadores, para mejorar la densidad del material.
2. **Reforzamiento con geo-sintéticos:** Se pueden utilizar geo-sintéticos, como geotextiles o geo-redes, para reforzar el bloque de concreto-relave. Estos materiales ayudan a distribuir las cargas y mejorar la resistencia del bloque, evitando posibles deformaciones o colapsos.
3. **Drenaje adecuado:** Es importante asegurarse de que el bloque de concreto-relave tenga un sistema de drenaje efectivo para evitar la acumulación de agua y el debilitamiento del material. Se pueden utilizar cunetas o sistemas de drenaje subterráneo para garantizar una evacuación adecuada del agua.

## Estabilización química de un bloque de concreto-relave

La estabilización química de un bloque de concreto-relave para caminos implica el uso de productos químicos para mejorar la resistencia y estabilidad del material. Algunas técnicas comunes incluyen:

- a. **Estabilización con cemento:** Se puede aplicar cemento u otros aditivos químicos al bloque de concreto-relave para mejorar su cohesión y resistencia. Esto ayuda a reducir la erosión y aumentar la capacidad de carga del material.
- b. **Estabilización con cal:** La cal se utiliza como estabilizador químico para mejorar las propiedades del bloque de concreto-relave. Ayuda a incrementar su resistencia y durabilidad, reducir la expansión y contracción por cambios de humedad, y mejorar las características de drenaje.
- c. **Estabilización con polímeros:** Los polímeros pueden ser utilizados como aditivos químicos para mejorar las propiedades del bloque de concreto-relave.

Pueden aumentar la cohesión, reducir la permeabilidad y mejorar la resistencia a la humedad.

- d. **Encapsulamiento:** Conocido como fijación química consistente en la inmovilización e insolubilización de los metales pesados, lográndose con una reacción química entre los componentes metálicos pesados del relave.

Los sistemas más comunes involucran a los aglomerantes o cemento. En el Perú, se han elaborado estudios para la obtención de ladrillos a partir de lodos de la minera Buenaventura, quienes diseñaron y elaboraron ladrillos a partir de los lodos de empozamiento del proceso metalúrgico. Se comprobó que, con la hidratación del cemento, los silicatos y aluminatos se hidratan, dando lugar una masa rígida, cemento endurecido.

La encapsulación de elementos tóxicos en relaves mineros es una técnica que busca estabilizar los metales pesados y contaminantes que se encuentran en los desechos de la minería, evitando que migren al medio ambiente y causen daños. Según Romero A & Flores S. (UNMSM, 2010) el encapsulamiento consiste en fijar químicamente los sólidos tóxicos. a través de una reacción química entre los componentes de los sólidos tóxicos en la matriz del relave.

Existen dos teorías: la teoría de hidratación de Le Châtelier que consiste en la hidratación de fases intersticiales y la formación de portlandita.

La teoría de Michaelis conocida como teoría coloidal considera la hidratación de los silicatos de calcio, formando, por acción del agua, un cristal de C<sub>2</sub>S (di silicato de calcio) lo que da lugar a la formación de una capa de hidratos primarios más pobres en cal que el C<sub>2</sub>S. De esta manera, al alcanzarse el límite crítico de solubilidad de la portlandita esta, se precipita y la solución se empobrece en calcio.

Romero A. & Flores S., señalan que dos factores influyen en la velocidad de hidratación: la finura de las partículas y la temperatura, puesto que la reacción tiene lugar a través de las superficies en contacto con la solución, una mayor finura del cemento, y por tanto un aumento en la superficie específica, tiende a acelerar la hidratación,

Entonces, los sistemas más comunes de solidificación involucran a los aglomerantes o cemento. La hidratación del cemento, da origen a la reacción de los silicatos y aluminatos del cemento que originan una masa endurecida

quedando los sólidos tóxicos atrapados en ella. En este sentido, Michaelis propone estabilizar la toxicidad de sustancias químicas peligrosas mediante la incorporación de cemento para hacer reaccionar el C2S (di silicato de calcio) formando una masa endurecida que atrapa al grano tóxico.

Le Châtelier, manifiesta que, si se altera una reacción en equilibrio, esta se desplazará en la dirección que alivie dicha alteración. Así, se puede controlar la disponibilidad y movilidad de los metales tóxicos mediante el uso de agentes externos como pH, temperatura, presión, entre otros.

e. **Microencapsulación con sílice:**

La Microencapsulación con sílice consiste en recubrir una metales pesados o tóxicos, con partículas de sílice para protegerla y prolongar su vida útil, además de permitir su liberación controlada en ciertas aplicaciones, como en la construcción, industria farmacéutica o alimentaria. Es efectivo para arsénico, cadmio, mercurio, cobre, plomo, zinc y cromo.

### **Resistencia a la compresión de un bloque de concreto-relave**

La resistencia a la compresión de un bloque de concreto es la capacidad que tiene dicho bloque para soportar cargas aplicadas en dirección vertical sin sufrir deformaciones o colapsos, medida en unidades de presión como megapascales (MPa)

En el caso de un bloque de concreto-relave, el concepto es igual con la precisión de que el mismo diseño va a presentar diferentes valores de resistencia por que dependería del tipo de relave. El relave se usa como aditivo físico que forma parte del agregado fino, en el diseño. Un bloque fabricado exclusivamente con relave, tienen una resistencia a la compresión menor que los bloques convencionales debido a su naturaleza porosa y materiales de menor calidad.

También la resistencia a la compresión de un bloque de concreto y relave depende del tipo de cemento que se use, la procedencia del relave, tamaño del bloque, forma del bloque y el método de ensayo. De acuerdo al estudio de las investigaciones de los antecedentes de esta investigación, la resistencia a la compresión de un bloque de concreto-relave puede variar desde 70 kg/cm<sup>2</sup> hasta más de 400 kg/cm<sup>2</sup>.

### **Peso específico:**

Por la misma razón de la procedencia del relava, el peso específico del relave varía dependiendo de la composición y densidad de los materiales presentes en él. Sólo se necesita conocer estos datos, presentes en él para fabricar bloques de relaves porque ayuda a determinar resistencia del material, lo que garantiza la estabilidad y seguridad de los bloques.

Por esta razón los pesos específicos que se muestran en la tabla 8, presentan rangos de variación que dependen de los factores señalados líneas arriba:

**Tabla 8.**

*Rango de peso específico de algunos metales*

<b>Metal</b>	<b>Promedio de peso específico</b>
Oro	15.6 g/cm <sup>3</sup> a 19.3 g/cm <sup>3</sup>
Plata	10.1 g/cm <sup>3</sup> a 12.5 g/cm <sup>3</sup>
Cobre	2.8 g/cm <sup>3</sup> a 3.5 g/cm <sup>3</sup>
Hierro	5.0 g/cm <sup>3</sup> a 7.8 g/cm <sup>3</sup>
Zinc	6.9 g/cm <sup>3</sup> a 7.2 g/cm <sup>3</sup>
Aluminio	2.3 g/cm <sup>3</sup> a 2.7 g/cm <sup>3</sup> .

Nota. Elaborado por CAM Ingenieros donde muestra el peso específico promedio de algunos metales

Los valores presentados, dependiendo de la composición del relave del metal considerado, pueden variar

Generalmente los lodos están saturados, es decir, todo el volumen de vacíos entre partículas sólidas está ocupados por el medio acuoso, por lo que, de esta forma, podemos hablar de la proporción de solidos respecto a la mezcla total y que se denomina concentración. El peso específico de los relaves es muy variable en función de las concentraciones de mineral y de la granulometría, en el caso de relaves secos, su peso específico depende de las condiciones de consolidación de los mismos en la balsa y de la evolución del índice de poros de la deposición inicial hasta el estado final bajo vertidos sucesivos.

El peso específico de un bloque de relave puede variar dependiendo de su composición, pero generalmente se encuentra en el rango de 2.5 a 3.5 toneladas por metro cúbico.

### **Permeabilidad:**

La permeabilidad del relave se refiere a su capacidad para permitir el flujo de líquidos a través de él. Es una medida de cuán fácilmente un fluido puede moverse a través de los poros y espacios intersticiales del relave. Una alta permeabilidad indica que el líquido puede fluir con facilidad, mientras que una baja permeabilidad indica que el flujo de líquido está restringido.

En este sentido podemos afirmar que el agua filtra a través de todos los materiales, con la única diferencia de la magnitud o intensidad. Lo cual va a depender de la amplitud de los poros o vacíos continuos que existan en sus partículas. Por lo tanto, la variación de la permeabilidad es función de la granulometría, plasticidad, del modo de posición y de su profundidad en el depósito.

En este sentido, la permeabilidad del bloque de relave puede variar ampliamente dependiendo de su composición y características. En general, los bloques de relave tienden a tener una baja permeabilidad, lo que significa que ofrecen una resistencia al flujo de agua. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la permeabilidad puede variar según las condiciones específicas del bloque de relave.

### **Plasticidad**

Para la fabricación de bloque de relave se necesita que éste, tenga la capacidad para cambiar de forma sin romperse durante el proceso de fabricación. Es importante para asegurar que los bloques mantengan su integridad estructural y sean resistentes a los impactos.

La plasticidad se mide generalmente utilizando el Índice de Plasticidad (IP), que se calcula restando el límite líquido (LL) del límite plástico (LP). Cuanto mayor sea el IP, mayor será la plasticidad del material. También se puede medir utilizando pruebas de laboratorio específicas, como el ensayo de compresión simple o el ensayo de corte directo.

La plasticidad óptima para fabricar bloques de relave puede variar dependiendo de las características del material y los requisitos de resistencia y durabilidad. En general, se busca un equilibrio entre plasticidad y resistencia para obtener bloques que sean lo suficientemente maleables para el proceso de fabricación, pero lo suficientemente robustos para soportar las condiciones de uso.

La plasticidad y la permeabilidad del relave están relacionadas de manera inversa. Es decir, a medida que aumenta la plasticidad de un material, generalmente disminuye su

permeabilidad. Esto se debe a que los suelos más plásticos tienden a tener una estructura más compacta y menos espacios porosos, lo que dificulta el paso del agua a través de ellos. Por lo tanto, la plasticidad puede influir en la capacidad de drenaje del relave.

### **Agua y humedad**

El agua cumple varias funciones importantes cuando forma parte del lodo porque ayuda a transportar los materiales finos y partículas en suspensión, facilitando la sedimentación y la separación de los sólidos. También puede influir en la plasticidad del relave, ya que puede afectar su contenido de humedad y su comportamiento mecánico. Además, el agua puede ser utilizada como medio de transporte para el relave durante el proceso de disposición o como parte de las técnicas de control de polvo. En resumen, el agua desempeña un papel crucial en el manejo y procesamiento del relave.

El valor de humedad del relave para fabricar bloques puede variar dependiendo de varios factores, como el tipo de material, el proceso de fabricación y los requisitos específicos del proyecto. En general, se busca un contenido de humedad que permita una adecuada plasticidad y facilite la compactación del material, evitando que sea demasiado seco o demasiado húmedo.

#### **2.3.1.3 Potencial de generar drenaje ácido de roca en relaves**

Para utilizar el relave en la fabricación de bloques es necesario hacer pruebas para caracterizar este potencial y prevenir responsabilidades, a largo plazo, relacionadas con el medioambiente, analizando el potencial de producción de ácido de las rocas de un depósito o emplazamiento.

Con estas pruebas y ensayos se restablecen estrategias preventivas y soluciones prácticas para reducir el impacto medioambiental de su uso como capa de rodadura de caminos, facilitando la implementación de prácticas rentables de gestión de residuos; la prueba empieza con la verificación del pH del agua.

El drenaje ácido se caracteriza por tener un pH bajo, alta concentración de metales pesados y ser altamente corrosivo. Contiene sólidos sulfonados y cientos de miligramos por litro, de metales en suspensión (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni), que dañan la ecología del entorno.

Es urgente buscar soluciones a este problema debido al elevado costo que representa el tratamiento en depuradoras convencionales, Aduvire O. (Madrid, 2006).

Se manifiesta el peligro cuando desciende rápidamente el pH del relave porque esto significa que se inició la reacción química de los óxidos con el agua, la disolución y transporte de compuestos de metales tóxicos disueltos además de los sulfatos. La reacción química iniciada puede durar siglos y es complicado detenerlo.

Este problema se manifiesta mucho tiempo después del cierre de una mina y el depósito queda abandonado y sometidos a la inclemencia del clima.

El potencial de generar drenaje ácido de roca en relaves depende de varios factores, como la composición mineralógica de los relaves, la presencia de minerales sulfurados y la exposición al agua y al aire. Está influenciado por la presencia de minerales sulfurados, como la pirita, la pirrotita o la marcasita. Estos minerales pueden oxidarse cuando se exponen al agua y al aire, lo que produce ácido sulfúrico. La cantidad y la calidad de los minerales sulfurados presentes en los relaves determinarán el grado de generación de drenaje ácido, Aduvire O. (Madrid, 2006)

Entonces, la presencia de minerales sulfurados en los relaves aumenta el potencial de generar drenaje ácido de roca. Este ácido puede acidificar el agua circundante y liberar metales pesados, lo que puede tener impactos negativos en el medio ambiente. Es por eso que es importante tomar medidas para prevenir o mitigar la generación de drenaje ácido en los relaves.

Al exponer el bloque de relave al aire y al agua, puede ocurrir la oxidación de minerales sulfurosos presentes en el relave, lo que lleva a la formación de ácido sulfúrico. Esto puede generar problemas de contaminación del agua y del suelo, afectando negativamente el medio ambiente y la salud humana.

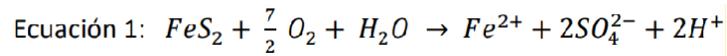
El potencial de generar ácido puede influir en la fabricación de bloques de relave al afectar la estabilidad química y física del material, lo que puede comprometer su integridad y seguridad.

### **Liberación de sustancias ácidas al medio ambiente**

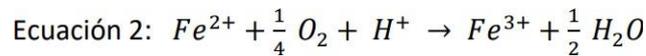
Por acciones meteorológicas, es inevitable la formación de drenaje ácido y, al respecto, Erickson & Ferguson (1987), indicaron tres fases en la formación del drenaje ácido:

**Fase 1:** Los relaves contienen metales y minerales sulfurados que, por estar en contacto atmosférico, ocurre la reacción entre estos y el O<sub>2</sub> generando acidez que es rápidamente neutralizada por minerales consumidores de ácido permitiendo un pH casi

neutral, por un tiempo considerable. Si el mineral sulfurado contiene pirita, se da la reacción química siguiente:

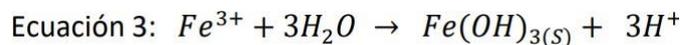


Si el potencial redox se mantiene alto y el  $pH \geq 7$ , el Fe (II) será oxidado a Fe (III), reduciéndose la acidez según la siguiente reacción:



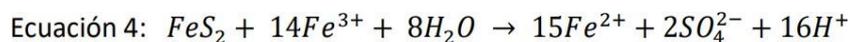
Cuando todos los minerales consumidores de ácido intervinieron en las reacciones químicas, el pH desciende haciéndose más ácido.

**Fase 2:** Con un  $pH \leq 4.5$  la oxidación es dominada por microorganismos quienes aceleran la reacción de la ecuación 2 por la presencia de bacterias catalizadoras, quienes permiten que parte del Fe (III) reaccione con el agua formando hidróxido férrico y aportando más acidez al sistema, tal como se muestra en la ecuación 3:



Según Bahamondes, (2012) & Wakeman et al., (2008), los valores obtenidos de pH entre 3 y 4.5, la oxidación del relave es realizada por diferentes tipos de bacterias como Acidimicrobium ferrooxidans y Sulfolobus acidophilus, entre otras. Cuando se alcanza un valor de  $pH < 3.5$ , se inicia la tercera fase.

**Fase 3:** Los iones férricos ya no son hidrolizados y comienzan a actuar como agentes oxidantes, tal como el  $O_2$ . aumentando aún más la velocidad de reacción y la oxidación causada por el ion férrico empieza a atacar otros minerales sulfurados que se encontraban en estado latente, sin reaccionar. Para el caso de la pirita, la principal ecuación que describe esta etapa es:



A valores de pH < 3.5 el Fe<sup>3+</sup> continua en parte disuelto, mientras que el Fe<sup>2+</sup> puede seguir siendo sucesivamente oxidado pasando a Fe<sup>3+</sup>, tal como indica la ecuación 2. La Tabla 09 muestra algunos de los principales minerales sulfurados existentes en depósitos minerales y se indica la generación de ácido, ya sea con O<sub>2</sub> o con ion férrico.

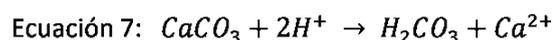
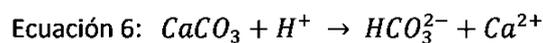
**Tabla 9.**

*Metales pesados generadores de acidez*

Genera acidez en presencia de O <sub>2</sub>		Genera acidez en presencia de Fe <sup>3+</sup>	
Pirita	FeS <sub>2</sub>	Esfalerita	ZnS
Pirrotina	Fe <sub>1-x</sub> S	Galena	PbS
Bornita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>
Arsenopirita	FeAsS	Covelina/Calcosina	CuS/Cu <sub>2</sub> S
Enargita/Famatinita	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub> /Cu <sub>3</sub> SbS <sub>4</sub>	Cinabrio	HgS
Rejalgar	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Millerita	NiS
Oropimente	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Pentlandita	(Fe,Ni) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>
Estibnita	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Greenockita	CdS

Nota: Se muestra los principales sulfuros que existen en depósitos de minerales y su reactividad respecto al O<sub>2</sub> y Fe<sup>3+</sup>

De acuerdo a Fey (2003), si el depósito de relave contiene minerales suficientes, es posible que no drene ácido porque, estos, se combinan y se neutralizan. En teoría se consumirá toda la acidez de la solución cuando el potencial de neutralización sea mayor que el potencial de acidificación del relave. Estos minerales son principalmente los carbonatos y en menor medida óxidos, hidróxidos y silicatos (Reed, 1997). Para el caso de la calcita, las reacciones asociadas al consumo de acidez son:



Una característica importante de los drenajes ácidos son los altos niveles de metales disueltos que transportan. Aún durante reacciones de neutralización, se aportan a las soluciones elementos como Fe y Al, siendo algunos de estos metales solubles incluso a pH neutro o alcalino (por ejemplo: As y Mo). En depósitos en los cuales se alcanza la tercera etapa mencionada, comienzan a lixiviarse además sulfuros que aportan otros elementos como Pb, Zn, Hd o Cd.

Para minimizar el drenaje de ácidos al medio ambiente en la fabricación de bloques de relave, es importante implementar medidas como el uso de técnicas de encapsulamiento para sellar el material y evitar su exposición al aire y al agua.

Algunas técnicas de encapsulamiento de sólidos tóxicos de relave de mina incluyen: la construcción de presas o depósitos impermeables para contener los residuos,

el uso de revestimientos geosintéticos para evitar la filtración, la aplicación de capas de cobertura vegetal para minimizar la lixiviación y el uso de barreras físicas para limitar el acceso y proteger el entorno.

Además, se pueden aplicar métodos de neutralización mediante el uso de sustancias alcalinas para contrarrestar la acidez. También es fundamental contar con sistemas de manejo y tratamiento adecuados para capturar y tratar los efluentes ácidos antes de su liberación al medio ambiente.

### **Generación de ácido en la fabricación de bloque de concreto-relave**

Para la fabricación de bloque de concreto-relave, previamente se debe hacer el tratamiento físico químico del relave para neutralizar los residuos tóxicos, si los contiene; generalmente los relaves de extracción del oro y otros, son los que producen residuos tóxicos por el tratamiento realizado en el proceso de flotación con arsénico y cianuro; en consecuencia el contenido de residuos tóxicos en el relave puede variar dependiendo del tipo de minerales procesados y las prácticas de la industria minera.

Algunos de los residuos tóxicos comunes encontrados en los relaves incluyen metales pesados como arsénico, plomo, mercurio, cianuro, entre otros compuestos químicos contaminantes. Es importante insistir que el contenido específico de residuos tóxicos puede variar de una mina a otra.

Para la fabricación de concreto-relave, el cemento puede ayudar a estabilizar el relave aumentando su resistencia y durabilidad, lo que reduce el riesgo de lixiviación de metales y generación de drenaje ácido.

Para Paula Martínez (2015), el drenaje ácido es el producto del proceso de meteorización de minerales sulfurados, que ocurre cuando las rocas que contienen este tipo de minerales son expuestas a condiciones atmosféricas oxidantes.

Los minerales más propensos a generar drenaje ácido son los sulfuros, siendo la pirita el más relevante entre ellos, al poseer una cinética de oxidación más acelerada que otros sulfuros y produce este drenaje con más facilidad y en menos tiempo y constituir el mineral sulfurado más abundante en la corteza terrestre (Bayliss, 1989; Chandra y Gerson, 2010; Rickard, 2015).

Los depósitos de relaves suelen presentar granulometrías finas y homogéneas debido a que han sido sometidos a los procesos de molienda y flotación, por lo que las áreas superficiales expuestas a meteorización son muy elevadas. Esto los convierte en

lugares muy favorables para la generación de drenaje de ácido, sobre todo si la mineralogía de ganga asociada incluye altos contenidos de pirita.

### 2.3.2 Carreteras no pavimentadas

Según el manual de carreteras del Perú EG-2013, una carretera no pavimentada se define como aquella que no tiene una capa de rodadura de material asfáltico o de concreto de cemento Portland, y que puede estar conformada por una capa de afirmado, una subrasante mejorada o simplemente la subrasante natural.

Las carreteras no pavimentadas en el Perú varían en condiciones y pueden ser accidentadas, polvorientas o embarradas, dependiendo de la región y el clima los cuales están clasificadas como rurales o secundarias que conectan áreas rurales y pueden tener condiciones variables en el perfil, presencia de grava o tierra, y pueden ser más estrechas que las carreteras principales.

El manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, MTC, señala que los caminos BVT se dividen en caminos de tierra, que están conformados por suelo natural, mejorado con grava seleccionada y, caminos de afirmado, conformados por una capa de material granular compactado sobre el suelo natural o mejorado. Estos requieren de mantenimiento continuos para evitar la pérdida de material, la formación de baches, el deslizamiento de taludes y la erosión hídrica.

La capa de rodadura está conformada por materiales granulares sometidas a tratamientos superficiales, con trabajos previos de alineación, con sección transversal y longitudinal establecida, drenaje, o las que han sido trabajados sin ningún tratamiento como las trochas carrozables para accesos remotos.

De acuerdo a la tabla 10 hasta el año 2022 el Perú cuenta con 143,402 km. de carreteras no pavimentadas cuya estabilización se podría realizar con relaves mineros.

**Tabla 10.**  
*Caminos no Pavimentados (km)*

<b>AÑO</b>	<b>Nacional</b>	<b>Departamental</b>	<b>Vecinal</b>	<b>Total</b>
2009	13 000	22 769	34 325	<b>70 094</b>
2010	11 151	23 787	33 994	<b>68 932</b>
2011	9 680	23 509	78 760	<b>111 948</b>
2012	9 846	21 895	90 233	<b>121 974</b>
2013	9 100	22 474	104 862	<b>136 435</b>
2014	8 377	22 582	112 741	<b>143 701</b>
2015	8 016	20 828	112 758	<b>141 603</b>
2016	7 001	21 608	112 002	<b>140 612</b>
2017	6 424	23 767	110 608	<b>140 800</b>
2018	5 676	23 882	111 999	<b>141 557</b>
2019	4 881	23 378	111 925	<b>140 184</b>
2020	4 664	23 563	111 688	<b>139 914</b>
2021	4 441	23 286	115 262	<b>142 989</b>
2022	4 437	23 220	115 745	<b>143 402</b>

Nota. Se muestra la Longitud de la Red Vial no Pavimentada MTC (2022)

Considerando las fuentes consultadas, algunos sugieren una dosificación de 150 gr/m<sup>2</sup> por cada centímetro de espesor de la capa estabilizada, otras recomiendan una dosificación de 25% de relave. El espesor de la subrasante de caminos no pavimentados puede variar según el tipo de suelo, el grado de compactación y el diseño del camino.

Consideran que los valores posibles de espesor son:

- 0.45 m para construcción y 0.20 m para rehabilitación
- 0.15 m como mínimo aceptable
- De 0.30 m a 0.45 m como espesor usual.

Haciendo cálculos y considerando el ancho promedio de 4.50 m. de caminos no pavimentados y tomando la información de la tabla, es posible estabilizar estos suelos con relave, como aditivo.

Si tomamos el promedio de los pesos específicos de relaves de la tabla 8, sólo para efecto de cálculo de relave que se usaría en suelos de caminos no pavimentados, podemos decir que el peso específico, es 7.975 g/cm<sup>3</sup>; se precisa que no se debe generalizar este peso específico.

Este dato nos permite estimar la cantidad 579 toneladas de relave que se utilizaría en estabilizar los suelos de carreteras no pavimentadas del Perú y se estaría contribuyendo con la reducción del riesgo de contaminación latente.

Según el Manual de Diseños Para Carreteras no Pavimentadas de bajo volumen (2008), se consideran cuatro tipos de caminos y se definen de la siguiente manera:

### **Subrasante de caminos de bajo volumen de tránsito**

Es la capa superficial de terreno natural que se analiza para construir carreteras hasta 0.45 m de espesor, y para rehabilitación los últimos 0.20 m.

Según el manual de diseño para carreteras no pavimentadas (2008), la capacidad de soporte de estos caminos, en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño del afirmado, que se colocará encima.

**Tabla 11.**

*Características básicas para la superficie de rodadura de las Carreteras no Pavimentadas de bajo Volumen de Tránsito*

<b>Carretera de BVT</b>	<b>IMD Proyectoado</b>	<b>Ancho de Calzada (M)</b>	<b>Subrasante</b>
T <sub>3</sub>	101-200	2 carriles 5.50 a 6.00 m.	Muy buena CBR > 20%
T <sub>2</sub>	51-100	2 carriles 5.50 a 6.00 m.	Buena CBR entre 11 a 19%
T <sub>1</sub>	16-50	1 ó 2 (*) carriles 3.50 a 6.00 m.	Regular CBR entre 6 a 10%
T <sub>0</sub>	<15	1 carril (*) 3.50 a 4.50 m.	Pobre CBR entre 3% a 5%
Trocha carrozable	IMD Indefinido	1 sendero (*)	Muy pobre CBR < 3%

Nota. Los valores son tomados de la Norma de BVT -MTC – 2008, elaborados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones

La Norma considera como materiales aptos para la coronación de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%. En las carreteras tipo T<sub>0</sub> y la trocha carrozable, se procede a eliminar la capa de material inadecuado y se colocará un material granular con CBR mayor a 6%; para su estabilización.

Las especificaciones se encuentran en el catálogo de estructuras de capas granulares y para estos casos, sobre la subrasante natural se colocará una capa de 20 cm de arena y sobre ella, luego se añadirá una capa de 30 cm de piedras grandes.

La subrasante debe de tener una distancia mínima de 60 cm sobre la napa, si es una subrasante muy buena y buena; si la subrasante es regular, 80 cm. si es pobre, 80 cm y 1 metro si es muy pobre.

### **Bloque de concreto-relave en caminos de bajo volumen de tránsito**

Es posible utilizar bloques de concreto como pavimento en ciertas aplicaciones, como calles residenciales, aceras o áreas peatonales. Los bloques de concreto pueden ofrecer durabilidad y resistencia, además de permitir un fácil mantenimiento y reemplazo en caso de daños. Sin embargo, no es común utilizar bloques de concreto-relave como pavimento, ya que los relaves generalmente son residuos o desechos provenientes de la minería que no ofrecen las características adecuadas para ser utilizados como pavimento.

Pero si, es posible utilizar bloques de concreto-relave en caminos afirmados, dependiendo de las condiciones y requisitos específicos del camino.

Es importante tener en cuenta que los bloques de relave pueden tener propiedades diferentes a otros materiales convencionales utilizados en caminos afirmados, por lo que se debe realizar un análisis exhaustivo para determinar su idoneidad y durabilidad en ese tipo de aplicación. Para que los bloques de relave sean compatibles con el suelo del camino, es importante que se realice un análisis de las características de ambos materiales.

Algunas de las condiciones que deben considerarse son:

- La capacidad portante del suelo y de los bloques de concreto-relave.
- La permeabilidad del suelo y de los bloques de concreto-relave.
- La resistencia a la erosión y la compactibilidad del suelo y de los bloques de concreto-relave.
- La capacidad de drenaje del suelo y de los bloques de concreto-relave.

Es importante que se realice un estudio técnico exhaustivo para determinar si las condiciones del suelo y los bloques de relave son compatibles para garantizar la estabilidad, durabilidad y seguridad del camino.

### **Capacidad portante del suelo de caminos de bajo volumen de tránsito**

En este tipo de caminos, se suelen utilizar materiales de sub-base y base granulares para mejorar la capacidad portante del suelo natural.

La capacidad portante del suelo se puede medir mediante pruebas como el ensayo de placa o el ensayo de penetración estándar (SPT). Los resultados de estas pruebas permiten determinar la resistencia y la compresibilidad del suelo, lo que es esencial para el diseño adecuado de la sub-base y la base granular.

### **Aplicabilidad del método SPT:**

De acuerdo con López Menardi, los sobre trabajos realizados in situ y los ensayos realizados en el laboratorio, la aplicabilidad del método SPT en relación con los parámetros del subsuelo se describen en la tabla siguiente:

**Tabla 12.**

*Aplicabilidad del método SPT*

<b>Parámetros del subsuelo</b>	<b>Aplicabilidad del SPT</b>
Tipo de suelo	B
Perfil estratigráfico	B
Densidad relativa (Dr)	B
Angulo de fricción ( $\phi$ )	C
Resistencia al corte. UU	C
Presión neutra (U)	N
Relación de pre consolidación	N
Módulos E y G )	N
Compresibilidad (mv& cc)	C
Consolidación cv)	N
Consolidación cv)	N
Curva ( $\sigma$ - $\epsilon$ )	N
Resistencia a la licuefacción	A

Nota. Se señala los parámetros del subsuelo considerado por el método de penetración de suelo, elaborado para la Universidad Tecnológica Nacional de Buenos Aires

Donde:

- ✓ A: Aplicabilidad alta.
- ✓ B: Aplicabilidad moderada.
- ✓ C: Aplicabilidad limitada.
- ✓ N: Aplicabilidad nula.

Es importante que se realice un análisis técnico adecuado para determinar la capacidad portante del suelo en caminos de bajo volumen de tránsito y seleccionar los materiales de sub-base y base más adecuados para garantizar la estabilidad y durabilidad del camino.

### **Estabilización de suelos con relave**

La caracterización del suelo es el proceso de identificar y describir las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo, incluyendo la textura, estructura, composición química, capacidad de retención de agua, permeabilidad, pH y otros factores que pueden

afectar el crecimiento de las plantas y la calidad del suelo.

Es necesario caracterizar el suelo para decidir la estabilización de suelos con relave de minas para mejorar la calidad y resistencia del suelo mediante la incorporación de residuos mineros. Sin embargo, es importante tener en cuenta las regulaciones ambientales y la seguridad de materiales que conforman el relave.

Las regulaciones ambientales son importantes en la estabilización de suelos con relave de minas para garantizar que se cumplan los estándares de protección del medio ambiente.

Esto se debe a que los relaves mineros pueden contener sustancias tóxicas o contaminantes que podrían afectar negativamente los ecosistemas y la salud humana si no se manejan adecuadamente. Las regulaciones buscan minimizar los impactos ambientales y asegurar una gestión segura de estos materiales.

La seguridad también es un aspecto importante porque los relaves mineros pueden ser materiales peligrosos si no se manejan adecuadamente, ya que pueden tener propiedades como la acidez, la toxicidad o el potencial de deslizamientos. Por lo tanto, es importante seguir los procedimientos y medidas de seguridad adecuados para minimizar los riesgos asociados con estos materiales.

### **Estabilización de suelos de carretera de bajo volumen de tránsito**

**Para Córdova Saavedra, Italo (2020)** la estabilización de un suelo de carretera BVT se puede realizar utilizando productos o aditivos estabilizadores que permiten hacer uso de los materiales y suelos del lugar para mejorar la transitabilidad de los caminos BVT en condiciones húmedas para impedir el levantamiento de polvo, en condiciones secas. Entre las técnicas conocidas se encuentran las bases asfálticas y estabilizadas con asfalto espumado (usadas en rutas de medio a alto tránsito), colocación de perfilado de carpeta asfáltica, tratamientos superficiales bituminosos, sellos de imprimación reforzada y sellos integrados (en caminos de bajo tránsito).

**Llaczka Cárdenas, Hans Alexander (2020)**, insiste en caracterizar el relave y utilizarlo como aditivo físico estabilizador de suelos para mejorar el comportamiento físico mecánico de suelos limo-inorgánicos para cimentar edificaciones en un distrito limeño demostrando que aumenta sus propiedades físicas y mecánicas, la densidad, el esfuerzo cortante y el soporte de cargas aplicadas del suelo para una mejor cimentación de edificaciones.

**Romero Segura & Vare Quispe (2022)**, demuestra que la adición de relave en el diseño del concreto influye positivamente en la capacidad portante de la trocha carrozable, adicionando 10%, 20% y 30% de relave, en el diseño del concreto. A través de ensayos de mecánica de suelos, verifica las características de la trocha y determinar el índice de plasticidad y contenido de humedad elevado y comprueba el predominio del tipo de suelo compuesto por arena limosa con grava y grava limosa con arcilla. El comportamiento del suelo con adición de relave, se obtiene un 25.64% de CBR .

Es importante considerar que para el buen diseño de caminos pavimentados BVT se deben limitar al mínimo indispensable el ancho de la carretera para restringir el área alterada, evitar la alteración de los patrones naturales de drenaje y proporcionar drenaje superficial adecuado.

Si se trata de una trocha carrozable se puede estabilizarla mediante diferentes técnicas, como la incorporación de materiales estabilizantes, compactación y la utilización de geotextiles. La elección de la técnica dependerá de las características del suelo existente y las necesidades específicas de la trocha.

La estabilización de suelos en una carretera de BVT (Base y Subbase), también es posible utilizando técnicas similares, como la compactación, la adición de materiales estabilizantes y el uso de geotextiles.

La estabilización de caminos afirmados BVT con material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado utilizando relave puede realizarse mediante la incorporación del relave como material estabilizante. Previamente se debe llevar a cabo un estudio para determinar la cantidad de relave que se necesita incorporar para lograr la estabilización adecuada del camino, teniendo en cuenta las características del suelo y del relave.

Como ya se expresó, el relave debe cumplir con los requisitos técnicos y ambientales establecidos por las normativas correspondientes para su uso en proyectos de este tipo.

Una carretera BVT estabilizado con relave no debe tener como superficie de rodadura bloques de relave por las posibles reacciones químicas que pudiera suceder cuando halla precipitación de agua. En general, los bloques de relave no son compatibles con un camino BVT estabilizado con relave.

Los bloques de relave son estructuras sólidas que se utilizan como barreras físicas para contener los residuos mineros líquidos, no están diseñados para ser utilizados como material de estabilización en caminos o carreteras. Para estabilizar un camino BVT con

relave, es más común utilizar el relave en forma de material granular o mezclado con otros materiales estabilizantes.

No necesariamente, los parámetros del suelo y del bloque de relave pueden ser diferentes. Los parámetros del suelo y del bloque de relave se rechazan cuando no cumplen con los estándares de seguridad y calidad establecidos.

Para los fines de contribuir con la reducción de riesgos de contaminación, disminuyendo la cantidad de relave de depósitos abandonados, se debe usar estos relaves en la estabilización de los suelos

Para tender los bloques de concreto-relave sobre los caminos estabilizados con relave, se debe evaluar, previamente, las propiedades mecánicas de la subrasante del suelo realizando los ensayos de análisis granulométrico por tamizado, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Además, de los ensayos normales que se realizan, de analiza los posibles residuos tóxicos que pudieran tener.

**Según Pari-Villalba (2022)**, manifiesta que se estabiliza la subrasante usando relave de la Mina Rinconada, Juliaca, con una dosificación de 5%, 10%. y 15%. De acuerdo a los estudios realizados, las propiedades físicas y mecánicas para los ensayos de índice de plasticidad de las calicatas, se concluye que, adicionando 15% de relave, se obtiene una reducción en el índice de plasticidad y un incremento en la capacidad de soporte.

**Según Romero J. (2017)**, la estabilización del suelo con una dosificación de 5% y 10% en peso con relave minero; excavó tres calicatas y realizó los ensayos respectivos obteniendo una relación de soporte C.B.R. al 95 % de 8.0 %, 7.7 %, 13.1 % respectivamente para cada calicata. El suelo estabilizado al 5% obtuvo un C.B.R. al 95 % de 9.5 %, 9.8 % y 19.5 % para cada calicata; y el suelo estabilizado al 10 % obtuvo un C.B.R. al 95 % de 13.3 %, 11.7 % y 21.2 % para cada calicata. Concluye que el relave de la mina estudiada estabiliza el suelo de la subrasante escogida.

Para caminos de bajo volumen de tránsito, un CBR del suelo de 30% a 50% puede ser suficiente, dependiendo de las condiciones específicas del sitio y del tipo de vehículos que transiten por el camino. Se debe reducir el índice de plasticidad y tener un CBR mediano para poder mejorar la capacidad de soporte de caminos BVTs

Pero los valores CBR hay que tomarlos con cierta precaución porque presentan cierta dispersión de resultados (al igual que el SPT), no refleja las condiciones a las que estará sometido el suelo y es una prueba poco fiable para suelos con CBR elevados.

A pesar de lo anterior, es un ensayo muy habitual y suele correlacionarse con el módulo de elasticidad del suelo. A continuación, se presenta una de las relaciones más habituales.

### **Determinación del Módulo Elástico a partir del CBR**

El módulo elástico del suelo es una medida de la rigidez del suelo, es la capacidad para deformarse y recuperar su forma original cuando se aplica una carga. Cuando se conoce el CBR, se utiliza la siguiente fórmula:

$$E = 65x(CBR)^{0.65} \text{ (en Kp/cm}^2\text{)}$$

Igualmente, cuando no es posible realizar el ensayo CBR se estima a partir de otros ensayos como es el SPT de acuerdo a relaciones que se muestra a continuación:

**Tabla 13.**

*Correlaciones de Ensayo CBR*

	<b>Suelo granular</b>	5	10	12	15	20	25	30
<b>N<sub>SPT</sub></b>	<b>Suelo cohesivo</b>	2	5	7	10	15	17	20
	<b>CBR estimado</b>	1	2	3	5	10	20	30

Nota. Según Albán Avilés (2018), permite estimar el CBR considerando el número de punzadas dadas a suelos granulares y a suelos cohesivos. Fue elaborada en la Escuela de Formación Geotécnica GF. España.

Lo único que se debe considerar para evitar el rechazo del suelo al bloque de relleno son la compactación del suelo, la humedad adecuada, el uso de geotextiles y la correcta colocación del bloque en relación con la superficie del suelo.

## **2.4 Definiciones de términos básicos**

**2.4.1. Bloque de relave:** material de construcción compuesto con proporciones determinadas de concreto, relave y otros componentes.

Los bloques de relaves se pueden clasificar en categorías, siendo los más adecuados para caminos los relaves de cobre, relaves de oro y relaves de hierro.

#### **2.4.2. Relave de minerales inertes:**

El relave de minerales inertes se refiere a los desechos o residuos sólidos resultantes de la explotación y procesamiento de minerales que no contienen sustancias valiosas y no son utilizables para fines industriales o comerciales.

El almacenamiento de relave es muy costoso, las empresas mineras buscan la forma de construir las presas cerca de la planta de procesamiento, minimizando el costo de transporte del relave y reutilizando el agua del lodo.

Por el tema de responsabilidad social, las empresas buscan la forma de reutiliza el relave con fines de mitigar el impacto ambiental negativo.

**2.4.3. Mena de la mina:** La mena de una mina se refiere al material mineralizado que se extrae de la tierra y que contiene minerales valiosos que pueden ser procesados y utilizados con fines industriales o comerciales. Contiene metales valiosos, denominados minerales de mena y minerales sin valor, minerales de ganga.

Por lo tanto, la "mena" es el material natural, la roca o sedimento, que puede estar formado por uno o varios minerales con composiciones a veces complejas.

**2.4.4. Concentrado:** El concentrado del proceso minero es el producto resultante de la etapa de procesamiento de la mena, donde se separan y concentran los minerales valiosos en forma de un producto de mayor pureza y contenido.

Término usado al producto obtenido en los procesos de flotación, que consiste en la separación de los minerales de interés económico, de los otros que no lo tienen, minerales de ganga. Los minerales valiosos se conocen como concentrado de mena.

**2.4.5. Ganga:** Minerales sin interés económico, que forman parte de la mena obtenida en el proceso del concentrado, con una ley del metal, baja. La ganga no es una roca estéril, contiene minerales en pequeñísimas proporciones, despreciable económicamente hablando.

**2.4.6. Lixiviación:** La lixiviación de relave es un proceso hidrometalúrgico en el cual se aplica una solución química al relave de minerales inertes para provocar la disolución de un elemento determinado con el fin de extraer y recuperar metales valiosos o minerales disueltos que puedan estar presentes en el relave por medio de la electrólisis.

Es decir, es una operación unitaria que consiste en la separación de una o varias sustancias (solutos) contenidas en una matriz sólida en su fase portadora, usualmente pulverizada, mediante el uso de disolventes líquidos.

**2.4.7. Caminos tipo T:** De acuerdo al Reglamento del MTC, se denomina caminos de bajo volumen de tránsito, a toda carretera cuyo IMD es menor a 200 vehículos por día y los clasifica en T0, T1, T2, T3 y Trocha Carrozable sin IMD definido y, los cuatro primeros se generalizan, en esta investigación, como caminos T.

**2.4.8. Estabilización de suelos con relave:** La estabilización de suelos con relave es un proceso que se realiza a base de cemento y que mejora las características tanto físicas como químicas de los desechos tóxicos, haciendo que el relave sea útil para el mejoramiento de suelos

**2.4.9. Trochas Carrozables:** Las trochas carrozables son caminos estrechos y transitables por vehículos, generalmente utilizados en zonas rurales o de difícil acceso.

**2.4.10 Diseño del concreto:** El diseño del concreto se realiza mediante cálculos y consideraciones técnicas. Se deben tener en cuenta factores como la resistencia requerida, las condiciones de carga, la durabilidad y las propiedades del material. Se utiliza software especializado y normas de diseño para determinar la proporción de los ingredientes, como el cemento, agua, agregados y aditivos, para lograr las características deseadas del hormigón.

## 2.5 Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis

Figura 3.

Esquema del procedimiento del desarrollo de la investigación



Nota. Se describe el procedimiento realizado en el desarrollo de la investigación

## **2.6 Hipótesis**

### **2.6.1 Hipótesis General**

Caracterizando los relaves de minas se puede fabricar bloques de concreto-relave para usarlo en caminos de bajo volumen de tránsito

### **2.6.2 Hipótesis Específicas**

- a. La especificación geoquímica del relave, en la fabricación de bloques concreto-relave, garantiza su uso en caminos tipo T.
- b. La descripción de las propiedades física de relaves usado en la fabricación de bloques concreto-relave, permite su uso como aditivo en la estabilización del suelo de una trocha carrozable.
- c. Definiendo el potencial de generación de drenaje de ácido de roca para fabricar bloques de concreto-relave, certifica su uso en caminos tipo T.

## 2.7 Variables

Considerando que un cuadro de variables de investigación es una herramienta que se usa para identificar y organizar las variables se presenta con las definiciones respectivas para que se pueda comprender el sentido que se ha dado en la presente investigación.

**Tabla 14.**

*Operacionalización de variables y definiciones*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>V. I:</b> <b>Caracterización de relave de la mina</b>	Es el proceso de evaluar y describir características físicas, químicas y biológicas de residuos sólidos generados en el proceso de flotación conocidos como relaves, con el fin de comprender su composición y comportamiento ambiental	Es la descripción física y química de los minerales que se encuentran en el lodo. Implica llevar, probar y realizar análisis específicos con la finalidad de determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los relaves, como la granulometría, contenido de metales, pH, contenido de humedad, entre otros, a fin de obtener datos cuantitativos y cualitativos para su gestión y tratamiento adecuado	Caracterización geoquímica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relaves sólidos</li> <li>• Efluentes liquidas de flotación</li> <li>• Efluentes cianurados</li> </ul>
			Determinación Físico-químico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Granulometría</li> <li>• Peso específico</li> </ul>
			Identificación del Potencial de generar drenaje ácido de roca en relaves.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustancias ácidas.</li> <li>• Generación de ácidos</li> </ul>
<b>V. D:</b> <b>Caminos de bajo volumen de tránsito.</b>	Son caminos no pavimentados, con vías que tienen flujo de vehículos relativamente bajo, generalmente utilizadas en áreas rurales o poco pobladas.	Los caminos de bajo volumen de tránsito son aquellas vías que presentan un flujo de vehículos relativamente bajo en comparación con otras carreteras principales.	Camino Trocha carrozable	Sendero IMD (Indefinido)
			Caminos tipo T	IMD (101-200)
				IMD (de 51 a 100)
				IMD (de 16 a 50)
IMD < 15				

Nota. Se detalla las dimensiones e indicadores de las variables que permite estructurar los objetivos específicos

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Tipo, Método y Diseño de la Investigación

#### 3.1.1. Enfoque de la Investigación

La investigación cuantitativa y documental es detectar, conseguir y consultar la bibliografía y otros materiales que parten de otros conocimientos y/o informaciones recogidas moderadamente de cualquier realidad, de manera selectiva, de modo que puedan ser útiles para los propósitos del estudio (Sampieri H., Fernández, C. & Baptista, P., 2000, p). Considerando esta apreciación, la metodología de la investigación se expone a continuación.

#### Consideraciones éticas

La presente investigación es de enfoque cuantitativo-documental consistente en revisar y analizar las investigaciones relacionadas con diseños de unidades de albañilería, relaves de minas y suelos de los caminos BVT. Es documental debido a que es demasiado costosa por los estudios y análisis que se deben realizar en laboratorios además de los viajes que hay que hacer para la verificación in situ. Es por ello que esta tesis se desarrolla utilizando los resultados de las investigaciones realizadas por otros investigadores, reconociendo los derechos de autor, imparcialidad absoluta en los comentarios y referenciando todas las afirmaciones que conlleve el análisis

#### 3.1.2. Tipo de investigación

La elección del tipo de investigación debe estar de acuerdo a la naturaleza del estudio, por lo tanto, la investigación es documental porque se analiza investigaciones para recopilar y seleccionar información a través de la lectura de todos los documento obtenidos por los buscadores informáticos de búsqueda con la intención de aportar nuevo conocimiento.

**Por el nivel** la investigación es descriptiva porque, según (Hernández, Fernández y Baptista, 2014), la investigación descriptiva “busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”.

“En la investigación descriptiva se trabaja sobre la realidad de los hechos y su correcto análisis e interpretación”. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

En tal sentido, en la presente investigación se toma como base la información proporcionada por las investigaciones que forman parte de los antecedentes, respecto a la caracterización de relaves, bloques y suelos estabilizados con relaves mineros.

### 3.1.3. Métodos

**Método Descriptivo.** “Porque se describe las variables en estudio y se analiza su comportamiento para la inferencia de las características de la población” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Se describe la caracterización del relave, de los bloques concreto-relave y la caracterización de suelos de subrasante de carreteras de bajo volumen de tránsito, de acuerdo con las fuentes informativas seleccionadas.

**Método Analítico.** Es analítico porque descompone, las variables principales, en dimensiones y este, en sus diferentes partes e indicadores para facilitar su indagación y ayudar a entender a profundidad las caracterizaciones del relave, de los bloques y de los suelos de las subrasantes de los caminos BVT.

**Método deductivo.** Este método indica que “el estudio parte de lo general a lo particular, de la ley al hecho, puede afirmarse que va de arriba hacia abajo”. (Romero y Flores, 2010). Para el tema en cuestión se utilizará la información teórica y conceptual que se tiene de los relaves mineros, para después analizar y evaluar su aplicación concreta en la elaboración de bloques de concreto y relave para la construcción civil.

**Método Inductivo.** “Permite el razonamiento que se analiza una porción de un todo”, (Espín, Jarrín & Escoba, 2017). En el presente trabajo de investigación se utilizará en la recolección de datos para llegar a conclusiones de carácter general.

**Método Hermenéutico.** Por medio de este método “se buscará interpretar y comprender de manera sistematizada las teorías que fundamenten el estudio presente”. (Hernández, 2010), esta fundamentación radica en la relación existente entre variables de estudio: relaves mineros con bloques de concreto-relave y suelo de los caminos BVT.

#### **Procedimiento:**

- a) Revisión sistemática de la literatura. - Consistió en la búsqueda de información con similitud a la presente investigación. Para lo cual se realizó con recursos denominados buscadores virtuales de información, como: Google Académico, Dialnet, Redalyc, Ebsco, Alicia.net, Scielo, Cybertesis, Science Direct.

b) Trabajo de gabinete y laboratorio. - Comprendió el análisis e interpretación de los resultados de las investigaciones que figuran como antecedentes de la presente investigación, por lo cual se emplea figuras y tablas haciendo uso de Microsoft office. Consistió en los siguientes pasos:

- Revisión de fuentes para filtrar el contenido, descartando aquello que no tenga que ver con bloques diseñados con relave de minas.
- Cotejo del material relacionado con relaves seleccionado, tomando citas textuales de investigadores que validen sustenten la investigación.
- Interpretación del material que constituye el punto de vista propio que ponga en relación lo leído y ofrezca el resultado esperado.
- Cierre de la investigación, que consiste en relacionar el propósito de los objetivos con los resultados y las conclusiones con las finalidades. Así como aportar con recomendaciones para llenar vacíos en conocimientos del objeto de estudio.

c) Caracterización del relave y del suelo

- Caracterización geoquímica de relaves mineros: Pruebas de lixiviación escenario agua-relave con proporciones de líquido-sólido, de 20:1 según USGS FLT (Americana) y 10:1 según EN 12457-2 LLT (Europea)
- Caracterización físico-químico: se reduce el tamaño de partícula
- Identificación del potencial de generar drenaje ácido de las rocas
- Caracterización de suelos para caminos de bajo volumen de tránsito
- Caracterización mineralógica del relave para identificar presencia de minerales

d) Procesos para la obtención de agregados del relave para la construcción

El proceso para la obtención del agregado de construcción comprende los siguientes pasos (Romero y Flores, 2010):

Caracterizar y determinar la calidad del relave, lo cual involucra los siguientes pasos:

- Caracterizar geoquímicamente el relave,
- Analizar granulométricamente,
- Caracterizar fisicoquímica,
- Analizar químicamente
- Encapsular los insumos con el relave, cemento, cal, agregar agua hasta obtener una mezcla coloidal y finalmente secar la mezcla.
- Estudiar y analizar los resultados y conclusiones de las investigaciones recopiladas.
- Conformar una base de datos, documentos o fuentes duraderas de diverso tipo: revistas científicas, publicaciones en línea, escritos, grabaciones audiovisuales, grabaciones sonoras, etc.
- Elaborar un instrumento de levantamiento de información como mecanismo de comprobación o de evidencia, para sustentar la investigación.
- Utilizar instrumentos estadísticos descriptivos.
- Estudiar la información para determinar los resultados de la investigación.
- Analizar los resultados para determinar las conclusiones.
- Dado que una investigación documental se vale de investigaciones pasadas, los resultados y conclusiones se da de manera indirecta, es decir, a través del material y registro escrito de las actividades realizadas por los autores de las investigaciones analizadas.
- Estos materiales son conocidos como archivo o también como fuentes. En ese sentido, las fuentes utilizadas en esta investigación son:

- **Las fuentes primarias** constituidas por documentos publicados por estudios de los laboratorios de las compañías mineras.
- **Las fuentes secundarias** conformado por las investigaciones realizadas, escogidas para el análisis que permita dar respuestas sobre la seguridad de las viviendas.
- **Fuentes electrónicas**, sitios web, publicaciones periódicas en línea (diarios, boletines, revistas), publicaciones no periódicas en línea (libros, informes, tesis), documentos obtenidos a través de correo electrónico y grupos de noticias y foros de discusión.
- Base de datos: institucionales y científicas.

#### 3.1.4. Diseño de la investigación

Es no experimental, “Es la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables, es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos”. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Se presenta una interpretación y análisis de propiedades y características que reúne los relaves mineros y la subrasante de caminos de bajo volumen de tránsito.

Es no experimental porque se trabaja con investigaciones realizadas cuyas acciones y reacciones no se va a reproducir. No se manipula deliberadamente las variables que busca interpretar, sino que se limita a tomar notas de:

- Autor y título de la investigación
- Característica del bloque: dimensiones, proporción de materiales, otros
- Composición química del relave
- Resistencia del bloque, a la compresión y tracción
- Descripción física del bloque.
- Características de los suelos BVT.

El diseño, también es **Transversal** por recolectar datos en un solo momento. “Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Es transversal por recopilar datos de investigaciones sobre el diseño de bloques de relaves a partir de un momento único, para describir las características de las variables de las investigaciones, que forman parte de los antecedentes, y analizar sus propiedades.

Esto significa emplear indicadores descriptivos, que miden y/o describen una variable o factor, y causales porque ofrecen explicaciones respecto a los indicadores

## **3.2 Población y muestra**

### **3.2.1. Población**

Para Santa Palella y Filiberto Martins (2010), la población de una investigación documental es la recopilación de información de proyectos de investigación relacionados por el mismo objeto de estudio. En ese sentido, la población considerada en esta investigación está constituida por todas las investigaciones relacionadas con unidades de albañilería convencionales adicionadas con relave de las minas y su aplicación en los suelos de carreteras.

### **3.2.2. Muestra**

La muestra ha sido definida en forma determinística, habiendo seleccionado 10 investigaciones relacionadas con la fabricación de bloque de concreto adicionado con relave de mina y su aplicación exclusiva en carreteras de bajo volumen de tránsito

## **3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

**Fuente Secundaria:** consistente en la Revisión documentaria y recopilación de información de trabajos similares al tema en desarrollo.

**Técnica de análisis documental,** con la finalidad de obtener la documentación teórica del problema y objetivo de investigación del presente, se revisó estudios y acontecimientos semejantes al tema. Para esto, se usó como instrumentos de recolección de información:

a) buscadores o bases de datos virtuales: Scielo, Redalyc, Dialnet, entre otros; estos facilitaron la extracción de artículos científicos, revistas científicas, papers y tesis, obviamente con contenido relativo al trabajo.

- b) Guías para el análisis documental.
- c) Hojas de cálculo de Excel para organizar.

### **3.3.1. Técnicas de investigación**

Las técnicas de investigación consisten en métodos y procedimientos utilizados para recopilar y analizar información con el fin de obtener resultados o conclusiones en un estudio o proyecto. En este sentido, tenemos:

#### **Técnicas**

La técnica de muestreo es no probabilística, es determinado de acuerdo a la conveniencia de la investigación recurriendo al muestreo por cuotas consistente en tomar investigaciones de diseños de bloques con relaves de minas de extracción de un metal, otro por de minas de extracción de otro metal y así sucesivamente.

### **3.3.2. Instrumento de recolección de datos**

Según Hernández, Fernández y Baptista (2010) señalan que un instrumento de investigación “es el recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que se desea estudiar.”

Es un recurso que sirve al investigador para, recolectar la información necesaria para desarrollar la investigación, utilizando una ficha de contenido.

### **3.3.3. Recolección de datos, validez y confiabilidad**

La revisión documental consistirá en realizar una pequeña investigación y recopilación de información a través de la revisión de las investigaciones relacionadas con los diseños de ladrillos con relaves de minas de extracción de diferentes metales.

Los pasos para realizar esta investigación documental son los siguientes:

#### **1. Selección de las fuentes de información**

Se recopilará las investigaciones relacionadas con el diseño de ladrillos de las siguientes fuentes:

- Documentos impresos: libros, periódicos, tesis, archivos estadísticos, etc.

- Documentos electrónicos: libros digitales, artículos de Internet, revistas electrónicas, etc.
- Material gráfico: fotografías, planos, mapas, etc.
- Material audiovisual: reportajes, documentales, películas, podcast, conferencias, etc.

## **2. Revisar y organizar la información**

Una vez seleccionado las fuentes de información se empezará a revisar y clasificar los relaves de minas, propiedades físicas y mecánicas de los bloques, peso y proporción de materiales utilizados en el diseño.

## **3. Análisis de los datos**

Con toda la información recopilada se ordena y se procede al análisis de datos y luego, determinar las conclusiones de la investigación.

### **3.4 Descripción y procedimiento de análisis**

La descripción de los datos y la identificación de patrones básicos de los mismos se realizaron con la técnica multivariante de reducción de datos agrupados. Con el análisis de los datos se obtuvo los resultados y conclusiones, según los objetivos planteados

Por el número de variables estudiadas en esta investigación, se aplicó una estadística descriptiva porque se buscó señalar las características del relave para compatibilizarla con el suelo de caminos BVT buscando reducir los riesgos latentes de contaminación ambiental del lugar.

La unidad de análisis es la caracterización del relave que tiene tres componentes: geoquímico, físico-químico y el potencial de drenar ácidos de rocas.

Después de haber obtenido la información y los datos requeridos, se procedió a ordenar, organizar, procesar, analizar e interpretar la información, lo cual permitió elaborar las tablas que describen los resultados finales de las variables de estudio. También, para la redacción del informe se utilizó el paquete office 2016. Además, se realizó el análisis e interpretación de datos obtenidos a partir de los estudios revisados, lo

cual permitió precisar las características del relave y de los suelos BVT y describir los procesos químicos que ocurren en el relave por acción del aire u del agua de las lluvias.

En este proceso se hizo uso de ecuaciones químicas que explican la oxidación de los residuos metálicos y, también, el encapsulamiento que estabiliza el relave.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Resultados

De acuerdo a una investigación consultada, la dosificación de mezcla de concreto para un  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ , incorporando el RM como agregado fino, en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100% en la dosificación de mezcla de concreto producen resultados óptimos.

Los bloques con 50% de relave presentan resultados óptimos.

**Figura 4.**

*Consideraciones de aceptación para la Industria de la Construcción*



Nota. Igualdad que debe cumplir el relave de mina para ser aceptado como insumo.

Esta investigación afianza más la solución al problema ambiental en la gestión de residuos mineros, ahorro a las empresas mineras porque no genera costos en la reposición final del relave fomentando una industria minera sostenible.

“Hoy en día, naciones, empresas e instituciones de todo el mundo buscan la fórmula de crecimiento. Una gran parte de la solución está en la innovación sustentables”

Muthar Kent

**Tabla 15.**

*Resultado del Análisis de las Investigaciones que forman parte de los Antecedentes de la Investigación.*

AUTOR	INVESTIGACIÓN	OBJETO DE ESTUDIO	CONCLUSIONES
Romero Huayta, M. J., & Salinas Navarro, M. A. (2020) Romero Huayta, M. J., & Salinas Navarro, M. A. (2020)	Estudio experimental del concreto para adoquines tipo II, adicionando relaves mineros.	Los adoquines, con adiciones de relaves menores al 10%, obtienen una resistencia superior a la exigida por la norma NTP.399. 611	La adición del 10% de relave en los adoquines de concreto, es viable
Rojas Huamani, L. E., & Ventura Huamán, L. E. (2017):	Utilización del relave minero para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable.	Bloque de concreto con relave, ensamblable	Bloque con 50%RM es de 79.43 kg/cm <sup>2</sup> , cumple con la NTP 399.602
Briones G., & Sangay W. (2020):	Efecto de la dosificación del aglomerante y del tiempo del curado, sobre la resistencia a la compresión del ladrillo fabricado a partir de relaves mineros del distrito de Pulán, Cajamarca, 2020.	Ladrillo fabricado a partir de relaves	Considerando el tiempo y la dosificación, a mayor cantidad de cemento, como aglomerante, mayor resistencia a la compresión. La variable tiempo de curado no permitió diferencias significativas en la resistencia a la compresión
Cárdenas F. (2019):	Propuesta de uso de relaves de mina polimetálica en la fabricación de unidades de albañilería - caso ex unidad minera Mercedes 3.	Fabricación de unidades de albañilería	La utilización de relaves de minería polimetálica como material de agregado para la fabricación de ladrillos, es viable
Gutiérrez K. (2022):	Uso del relave en la elaboración de ladrillo maquinado y/o artesanal, obtenido del proceso de concentración metalúrgica de minerales auríferos por gravimetría y flotación - planta Prosuyo S.A.	Elaboración de ladrillos de relave maquinado y/o artesanal	El relave puede ser usado como materia prima en la elaboración de bloques de concreto, sin problemas de toxicidad.
A. V. Costa & A. G. Gumieri (2019)	Bloques de hormigón entrelazados producidos con relaves de alimentación de sinterización	Bloques de hormigón con relave	Para la industria minera brasilera, el uso de relaves representa una gran ventaja en términos de costo-efectividad. El objetivo fue garantizar el desarrollo sostenible de la industria de la construcción.
Valencia Rodríguez, J. N., & Loyola Alama, M. F. (Guayaquil: ULVR, 2019.).	Elaboración de bloques de construcción en base de relave minero, desechos de obras cemento portland, para viviendas de interés social	Bloques de relave para la construcción	Es posible la fabricación de bloques de construcción con relaves y desechos de obras con cemento portland.
Zúñiga A. España (2018)	Ciencia e ingeniería de nuevos materiales en la fabricación de ladrillos mejorados tecnológicamente.	Fabricación de ladrillos mejorado con relave de mina de oro	Se puede fabricar ladrillos adicionando relave de oro teniendo cuidado de encapsular las escorias de metales pesados alcalinizándolas con procesos de geopolimerización
Peña V. Chile (2021):	Hacia tecnologías de producción recicladas de relaves.	potencialidades del reciclaje de relaves	se refiere a la necesidad de avanzar hacia tecnologías de producción recicladas de relaves. Concluye en la necesidad de avanzar hacia tecnologías que permitan reciclar los relaves y reducir su impacto ambiental <sup>14</sup> .
Zuoan W. et al China (2021):	Utilización de relaves de minas de oro para producir ladrillos sinterizados.	Ladrillos sinterizados	Los parámetros óptimos del proceso para la preparación de los ladrillos sinterizados son un contenido de arcilla del 35%, una humedad del 25%, una temperatura de cocción de 1030 ° C y un tiempo de retención de 105min.
Thejas H. & Hossiney N. (2022):	“Una breve revisión sobre los impactos ambientales y la aplicación de relaves de mineral de hierro en el desarrollo de ladrillos ecológicos sostenibles”.	Ladrillos ecológicos sostenibles	El uso de relaves de mineral de hierro puede usarse para desarrollar bloques de construcción estables. Estos mostraron un gran potencial mejorando a los ladrillos cocidos con arcilla.
Sr. Beulah, M. R. et al (2021):	Ladrillos de próxima generación basados en residuos mineros: un estudio de caso de relaves de mineral de hierro, barro rojo y utilización de GGBS* en ladrillos	Ladrillos basados en GGBS Ladrillos del futuro	La fabricación de ladrillos sin utilizar Horno de cocción es una forma de reducir la emisión de gas CO <sub>2</sub> . Los resultados del estudio actual mostraron que la producción de ladrillos ecológicos mediante la utilización eficaz de materiales de desecho como IOT**, GGBS y lodo rojo con geopolimerización es un enfoque proactivo de sostenibilidad.

Nota. El cuadro muestra las conclusiones de las investigaciones consultadas

#### 4.1.1 Resultado 1

El análisis geoquímico de la composición química y mineralógica de los residuos generados por la actividad minera revela que la composición química del relave de una mina depende de los minerales que procesan luego las composiciones químicas de relaves de las minas, son diferentes. El análisis geoquímico es vital para la fabricación de bloques porque determina el grado de toxicidad del relave y el tipo y cantidad de aditivos que se deben usar para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del bloque. La extracción del metal, determina el proceso químico que se debe hacer en el proceso de flotación.

El análisis geoquímico ayuda a evaluar el impacto ambiental, la reutilización del relave y, también, para cumplir con las normas técnicas y legales vigentes.

En general, los relaves están compuestos por un 99% de minerales formadores de rocas y 1% de metales como oro, plata, cobre, etc.

Según Pradena, M., Mery, J.P., Novoa, E. (Chile, 2010), el análisis geoquímico del relave puede ser útil para el tendido de caminos no pavimentados porque permite determinar la calidad del material y su posible uso en la construcción de caminos no pavimentados.

#### 4.1.2 Resultado 2

La caracterización físico-química del relave influye en la fabricación del bloque de concreto-relave porque afecta las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, durabilidad y estabilidad de los bloques.

Esta caracterización determina el porcentaje de sulfatos que se encuentra en el relave que daña o debilita la estructura y capacidad de adherencia del bloque. Así mismo, la presencia de sales solubles en el agua de mezclado, como los sulfatos, puede afectar la resistencia del bloque. Es inevitable la formación de óxidos en el relave, en presencia de humedad, forma sulfatos perjudicando la estabilidad del bloque. La presencia de hierro, manganeso y aluminio pueden debilitar el bloque de concreto-relave debido a que pueden formar óxidos y/o hidróxidos que generan una expansión volumétrica en el material, lo que puede provocar fisuras y agrietamientos en la estructura del bloque. Además, estos elementos también pueden reaccionar con otros componentes del bloque, alterando sus propiedades mecánicas.

Pero, la composición química del cemento influye en el bloque de concreto con relave. El cemento es una mezcla de óxidos que reaccionan con el agua endureciendo el

concreto. Según Romero & Flores (UNMSM, 2010), la hidratación del cemento, da origen a la reacción de los silicatos y aluminatos del cemento que originan una masa que envuelve los sólidos tóxicos, quedando atrapados en ella.

El relave, usado como agregado grueso en el concreto, modifica la proporción de los óxidos y afecta la resistencia, la densidad y la porosidad del bloque. En cambio, el relave usado como agregado fino mejora las propiedades de resistencia del concreto, siempre que se cumplan ciertas condiciones de diseño y normativa.

El cemento utilizado en la fabricación del bloque de concreto contiene compuestos alcalinos que aumentan el pH del bloque que puede favorecer la calidad del bloque.

#### 4.1.3 Resultado 3

Definir el potencial de generación de drenaje de ácidos de roca para fabricar bloques de concreto-relave para usarlo como superficies de rodaduras en caminos tipo T, aledaños a las zonas mineras

La definición del Potencial de generar drenaje ácido de roca en relaves, para fabricar bloques de relave, da la posibilidad de tomar medidas para extraer y procesar rocas para la fabricación de bloques que dé seguridad ambiental para evitar la generación de ácidos que puedan contaminar el agua y el suelo, y se pueda gestionar eficientemente el drenaje de los ácidos que podría ocurrir.

La definición del potencial de generación de ácido permite conocer la cantidad de acidez del relave y determinar las acciones de neutralizarlo con base o hidróxidos para que se pueda utilizar en la fabricación del bloque. Para fabricar bloque de concreto-relave se debe maximizar la calidad de minerales con ácidos neutralizados y agua alcalina. Neutralizar el ácido con hidróxidos y encapsular permanentemente los materiales ácidos.

El drenaje de ácido se evita moliendo el relave con rocas calizas y agua neutra.

El drenaje ácido de relave se neutraliza mediante el uso de técnicas como la adición de sustancias alcalinas o neutralizantes para elevar el pH y reducir la acidez del agua.

#### 4.2 Discusión de Resultados

En lo que respecta al relave que se va a utilizar en la fabricación de bloque concreto-relave, se puede decir:

Según el Instituto de Minas del Perú (2023), Perú cuenta con el potencial de generar hasta 4 millones 490 mil 521 toneladas de relaves mineros por los próximos años al 2030, Estos relaves depositados en presas y en depósitos son pasivos latentes de contaminación que debe afrontar la minería peruana.

El problema se manifiesta debido al gran volumen de producción y al potencial contaminante que pueden ocasionar estos, cuando ocurren reacciones a causa de fenómenos naturales que se puede explicar en la figura 6.

**Figura 5.**

*Reacciones químicas que se produce en el relave*



Nota. Se muestra que los metales contenidos en el relave se oxidan y estos, con el agua, originan el ácido.

Los relaves contienen metales y están expuestos al aire y por acción del oxígeno, origina óxidos y estos, en presencia de agua, como la lluvia, origina ácidos que contaminan el ambiente y ocasionan alteraciones de la biodiversidad.

El reúso de los relaves es una alternativa de investigación para la academia para presentar alternativas sostenibles como la reutilización de relaves como unidades de albañilería, agregados en la construcción, innovaciones e investigaciones además de incentivar una industria minera con responsabilidad social ambiental alineándose con los ODS.

La calidad del relave depende de la caracterización de estos, además de su granulometría, contenido de humedad, contenido de finos, plasticidad y resistencia a la compresión. Es posible fabricar bloques utilizando exclusivamente relave, pero, el proceso de fabricación y la calidad de los bloques pueden variar según las características del relave utilizado, porque estos, dependen del metal que se extrae. Además, juega un rol importante la forma de almacenarlos en los depósitos donde se tiene que establecer la relación agua/sólido.

Un bloque fabricado solo con relave puede tener ventajas en términos de sostenibilidad y reutilización de residuos, pero su desempeño y durabilidad podrían ser diferentes en comparación con un bloque de concreto-relave tradicional.

Según Rómel Solís-Carcaño y Eric i. Moreno (2006), la porosidad influye en la resistencia y durabilidad del concreto; a más porosidad, menor resistencia mecánica que inhabilita al concreto. Bajo ese concepto, un bloque fabricado exclusivamente con relave, tendría una alta porosidad que lo descalifica como superficie de rodadura, por el drenaje de ácido en caso de lluvia.

La porosidad del bloque de concreto-relave puede variar dependiendo de la proporción de agregados y aditivos utilizados en su fabricación. En general, los bloques de concreto-relave tienden a tener una porosidad más baja que otros tipos de bloques de concreto debido a la incorporación de relave en su mezcla; la porosidad exacta puede depender de las especificaciones y la calidad del proceso de fabricación.

En general, los bloques fabricados con concreto y relave suelen tener mayor resistencia que los bloques fabricados únicamente con relave debido a las propiedades del concreto, que proporciona una mayor resistencia y durabilidad debido a la presencia de aluminatos y silicatos en la composición del cemento, originando una suerte de estabilización de los residuos tóxicos que pudiera haber.

Para evitar la generación de ácido en la fabricación de bloques de relave, se pueden implementar medidas como el control y monitoreo estricto de los niveles de pH, el uso de técnicas de neutralización con sustancias alcalinas, y la implementación de sistemas de manejo y tratamiento adecuados para minimizar la liberación de sustancias ácidas al medio ambiente. Algunos métodos de neutralización del ácido en relaves incluyen el uso de cal o caliza para elevar el pH y neutralizar la acidez, la aplicación de técnicas de lixiviación alcalina para disolver los metales ácidos, el tratamiento con agentes químicos como carbonato de sodio o bicarbonato de sodio, y la utilización de procesos biológicos como la biooxidación para reducir la acidez.

Para usar, responsablemente el relave, se debe considerar alcalinizar el relave por acciones químicas para que el pH esté siempre por encima del valor 7. Esto ayudará a neutralizar los sólidos tóxicos y permitirá su uso seguro en la fabricación de bloques de

concreto con relave y en la estabilización de suelos BVT. La neutralización de sustancias tóxicas en los relaves se logra mediante reacciones químicas que transforman los compuestos peligrosos en formas menos dañinas o no tóxicas.

No hay relave óptimo para fabricar bloques porque pueden variar dependiendo de varios factores, como la composición mineralógica, la granulometría y las propiedades geotécnicas del relave. En general, se busca un relave con una buena estabilidad, resistencia mecánica y baja permeabilidad.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a la discusión y teniendo en cuenta los resultados de las acciones realizadas en la investigación, se concluye:

### **Conclusión 1**

De acuerdo a Manrique M. & Agurto A. (2022), la especificación geoquímica del relave, dependiendo de la mina de procedencia, determina la presencia de contaminantes químicos que podrían modificar el comportamiento del suelo de la carretera provocando erosión y pérdida de elementos. Sin embargo, Romero Segura & Vare Quispe (2022) demostraron, con ensayos de mecánica de suelos, que en suelos compuesto por arena limosa con grava y, grava limosa con arcilla, adicionados con un porcentaje de 10%, 20% y 30% de relave mejora el comportamiento del suelo obteniendo 25.64% de CBR. Hay pocas investigaciones que busquen estabilizar suelos con relave de minas.

De acuerdo a

Según lo manifestado por Roble J. & Rodríguez P. (2020), los relaves se puede utilizar para mejorar las características físicas y químicas del suelo, por lo tanto se puede inferir que podría contribuir a la estabilidad del suelo de un camino tipo T y, además, considerando que el bloque concreto-relave se fabrica con cemento, este, encapsula los elementos tóxicos que podría contener el relave e impedir que reaccionen con el agua, garantizando la no contaminación del suelo. Un bloque fabricado con relave y otro aglomerante que no sea cemento, es un riesgo latente por las precipitaciones pluviales que originaría reacciones químicas con los componentes del bloque, que drenaría al suelo comprometiendo sus propiedades mecánicas y provocando erosión que generaría polvo y partículas suspendidas en el aire comprometiendo el ecosistema del lugar.

### **Conclusión 2**

De acuerdo a la investigación de Romero Flores Jesús (2020), manifiesta que es posible estabilizar el suelo de una carretera y lo demostró en un estudio

realizado en la carretera EMP.PE 3N (Catac) - túnel Kahuish - Chavín de Huántar - San Marcos - EMP.PE-14A (Succha) en Perú. Los resultados de este estudio mostraron que el suelo estabilizado con un 5% y 10% en peso de relave minero mejoró significativamente la relación de soporte C.B.R. al 95%. Pero es necesario precisar que sólo se trata del relave de la mina Ticapampa.

Así mismo Llacsá Cárdenas (2020) manifiesta que el relave influye incrementado las propiedades físicas de suelos limo-inorgánicos haciéndolo más estable, pero, para incrementar sus propiedades mecánicas, se debe suministrar más del 30% de relave respecto del suelo limo-inorgánico para obtener su incremento. Pero, se debe tener en cuenta la procedencia del relave.

Por lo tanto, la incorporación de relave en el suelo de una trocha carrozable, puede mejorar sus propiedades geotécnicas, como la capacidad de carga, la resistencia a la compresión y la estabilidad, previo estudio geotécnicos y pruebas de laboratorio que determinen la dosificación adecuada y el proceso de estabilización específico para cada caso que se presente.

### **Conclusión 3**

Según Aduvire O. (2006), desde el momento que se lleva el relave a los depósitos, el potencial de generación de drenaje ácido de roca empieza, en forma natural, debido a la presencia de humedad o precipitaciones pluviales que originan los ácidos. Estos relaves son utilizados para poder fabricar unidades de albañilería, bloques, muros, etc.

Cárdenas Ticlavilca (2019) afirma que la fabricación del bloque de concreto-relave neutraliza los efectos negativos que podría causar los elementos tóxicos contenidos, debido a que el cemento encapsula los metales pesados y convierte, estos elementos, en una forma inerte segura recubriéndolo con sílice y es particularmente efectivo para arsénico, cadmio, mercurio, cobre, plomo, zinc y cromo.

Entonces, el bloque de concreto-relave se puede usar como superficie de rodadura porque sus propiedades están potenciadas.

## **Conclusión General**

La caracterización geoquímica del relave es necesaria para conocer la presencia y porcentaje de metales pesados. Así mismo la caracterización físico químico permite determinar los efectos posibles en las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, durabilidad, estabilidad de los bloques y, también, es necesario definir el potencial de generación de ácidos de las rocas que contiene el relave para reducir riesgos de contaminación de aire, agua y suelo y así, tener la seguridad de fabricar bloques de concreto-relave que puedan ser utilizados como superficie de rodadura en caminos de bajo volumen de tránsito.

El suelo se puede estabilizar con relave, previa caracterización del suelo porque la composición de los relaves depende del metal que se extrae y de los químicos utilizados en el proceso de flotación. Por lo tanto, para utilizar el relave, ya sea para unidades de albañilería o como aditivo físico para estabilizar suelos, se debe caracterizarla realizando todas las pruebas estudiadas en esta investigación y los análisis necesarios para determinar la viabilidad y calidad del uso del relave.

## **RECOMENDACIONES**

1. Estudiar el uso de relaves en la estabilización de los diferentes suelos existentes en el país. Existen pocas investigaciones.
2. Estudiar la factibilidad de utilizar el relave en la fabricación de cemento
3. Elaborar bloque de relave con aglomerantes que no sea el cemento convencional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire O. (2006): Drenaje Acido de Mina Generación y Tratamiento, Instituto Geológico y Minero de España Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente
- Araujo F., Taborda I & Rafael M. Santo (2022); Recycling and Reuse of Mine Tailings: A Review of Advancements and Their Implications.
- Briones G., & Sangay W. (2020): Efecto de la dosificación del aglomerante y del tiempo del curado, la resistencia a la compresión del ladrillo fabricado a partir de relaves mineros del distrito de Pulán, Cajamarca, 2020.
- Cárdenas Ticlavilca, "Propuesta de uso de relaves de mina polimetálica en la fabricación de unidades de albañilería - caso ex unidad minera Mercedes 3," Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú, 2019. doi: <https://doi.org/10.19083/tesis/625225>.
- Costa, A., Ag Gumieri Y & Prg Brandão (2014) "Interlocking concrete blocks produced with sinter feed relaves Piso intertravado produzido com rejeito de sinter feed."
- Gutiérrez K., & Ruiz V. (2022): Uso del relave en la elaboración de lasrillo maquinado y/o artesanal, obtenido del proceso de concentración metalúrgica de minerales auríferos por gravimetría y flotación – Planta Prosuyo S.A.
- López, E. M., & Trejo, Y. L. (2021). Influencia de sustitución del agregado fino por relave mina Contonga, sobre las propiedades físico mecánicas de un concreto  $f'c=280\text{kg/cm}^2$ –2021.

López Menardi (2003), Determinación in situ de propiedades ingenieriles de los suelos y su relación con el ensayo normal de penetración; Universidad de Buenos Aires.

Loyola Alama María y Valencia Rodríguez Josué (2019): Elaboración de bloques de construcción en base de relave minero, desechos de obras y cemento portland, para viviendas de interés social.

Martínez Ramírez, Paula (2019), Protocolo de caracterización para la predicción de drenaje ácido en depósitos de relaves mineros.

Mercado Cortijo, P. J., & Reyna Marquina, K. A. (2020). Influencia de los porcentajes de los relaves mineros en la resistencia a la compresión en bloques de concreto ensamblables, Trujillo 2019.

Meza Vásquez Juan & Wilder Mamani Silva (2020): Estudio de los relaves mineros para la elaboración de ladrillos eco amigables.

Namuche Colonia, Franklin (2017), Resistencia de la sustitución del 5%, 10% y 15% de cemento, por la combinación de relave minero en la elaboración de morteros de edificaciones de albañilería en Huaraz.

Peña V., Durán C, & Fredi P. (2021) Hacia tecnologías de producción recicladas de relaves.

Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial 13(1): 75-82 (2010) UNMSM ISSN: 1560-9146 (Impreso) / ISSN: 1810-9993 (Electrónico) Reúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas.

- Robles J. (2019); Uso de relave para mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting. Cerro de Pasco-Perú
- Rojas Huamaní, L. E., & Ventura Huamán, L. E. (2017). Utilización del relave minero para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable.
- Romero A., Flores S. (2010), Reúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas.
- Romero Huayta, M. J., & Salinas Navarro, M. A. (2020). Estudio experimental del concreto para adoquines tipo II, adicionando relaves mineros.
- Romero J. (2017): Estabilización de suelos de subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP.PE 3n (Catac) – túnel Kahuish – Chavin de Huantar – San Marcos – EMP.PE – 14a (Succha) – 2017.
- Romero & Vare (2022): Adición de relave minero metálico en la capacidad portante de la trocha carrozable del tramo La Quida – Igor, Huaranchal.
- Torpoco Mendoza, M. A. (2022). Influencia del Relave Minero en las Propiedades del Concreto Estructural, en el Distrito de Huancayo, Provincia de Huancayo–Junin.
- Valencia Rodríguez, J. N., & Loyola Alama, M. F. (2019). *Elaboración de bloques de construcción en base de relave minero, desechos de obras cemento portland, para viviendas de interés social* (Guayaquil: ULVR, 2019.).
- Zúñiga A., (2018): Ciencia e ingeniería de nuevos materiales en la fabricación de ladrillos mejorados tecnológicamente.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1: Declaratoria de Autenticidad



Universidad  
Ricardo Palma

Escuela de Posgrado

### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y NO PLAGIO

#### DECLARACIÓN DEL GRADUANDO

Por el presente, el graduando: *(Apellidos y nombres)*

MENESES VÁSQUEZ, KARINA OLENIKA

en condición de egresado del Programa de Posgrado:

MAESTRIA EN INGENIERÍA VIAL CON MENCIÓN EN  
CARRETERAS, PUENTES Y TÚNELES.

deja constancia que ha elaborado la tesis intitulada:

BLOQUES DE RELAVE PARA CAMINOS  
EN ZONAS MINERAS.

Declara que el presente trabajo de tesis ha sido elaborado por el mismo y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica, de investigación, profesional o similar.

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

Asimismo, ratifica que es plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asume la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento y es consciente de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, el graduando se somete a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y los dispositivos legales vigentes.

Firma del graduando

31/Enero/2023

Fecha

**ANEXO 2: Autorización de consentimiento para realizar la investigación**

**(NO CORRESPONDE)**

### ANEXO 3: Matriz de consistencia

#### TÍTULO: BLOQUES DE RELAVE PARA CAMINOS EN ZONAS MINERAS

##### MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología	Diseño de investigación
<p><b>Problema General</b> ¿De qué manera la Caracterización de los relaves de minas ayuda en la superficie de rodadura de caminos de bajo volumen de tránsito no pavimentados?</p>	<p><b>Objetivo General</b> Caracterizar los relaves de minas para fabricar bloques de concreto-relave con la finalidad de usarlo como superficies de rodadura de caminos de bajo volumen de tránsito, aledaños a las zonas mineras, mediante un análisis documental.</p>	<p><b>Hipótesis General</b> Caracterizando los relaves de minas se puede fabricar bloques de concreto-relave para usarlo en caminos de bajo volumen de tránsito</p>	<p><b>V.I</b> Caracterización de relaves</p> <p><b>V.D.</b> Caminos de bajo volumen de tránsito</p>	<p><b>Método:</b> Hipotético-deductivo</p> <p><b>Procedimiento</b></p> <p>a. Recopilación de investigaciones</p> <p>b. Estudio y analices de resultados y conclusiones.</p> <p>c. Conformar una base de datos de documentos o fuentes duraderas de diverso tipo.</p> <p>d. Elaborar un instrumento de levantamiento de información.</p> <p>e. Usar instrumentos estadísticos descriptivos.</p> <p>f. Estudiar la información para determinar los resultados de la investigación.</p> <p>g. Analizar los resultados para determinar las conclusiones.</p>	<p><b>Por el enfoque</b> es una investigación cuantitativa y documental</p> <p><b>Por el nivel</b> la investigación es descriptiva</p> <p><b>Por el diseño,</b> la investigación es no experimental</p>
<p><b>Problemas Específico 1</b> ¿De qué manera la caracterización geoquímica de los relaves de minas, para fabricar bloques de concreto-relave, se puede usar como superficies de rodaduras en caminos tipo T?</p>	<p><b>Objetivo Específico 1</b> Especificar geoquímicamente los relaves de minas para fabricar bloques de concreto-relave a fin de usarlo como superficies de rodaduras en caminos tipo T, aledaños a las zonas mineras.</p>	<p><b>Hipótesis Específica 1</b> La especificación geoquímica del relave, en la fabricación de bloques concreto-relave, garantiza su uso en caminos tipo T</p>	<p><b>V.I</b> Especificación geoquímica</p> <p><b>V.D.</b> Camino tipo T</p>		
<p><b>Problemas Específico 2</b> ¿Es posible Caracterizar físicamente los relaves de minas, para fabricar bloques de concreto-relave, para uso en superficies de trochas carrozables?</p>	<p><b>Objetivos Específicos 2</b> Describir físico-químicamente los relaves de minas para fabricar bloques de concreto-relave a fin de usarlo como superficies de trochas carrozables, aledaños a las zonas mineras.</p>	<p><b>Hipótesis Específica 2</b> La descripción de las propiedades física de relaves de minas para fabricar bloques concreto-relave, avala su uso en trochas carrozables.</p>	<p><b>V.I</b> <b>Descripción</b> Físico-químico</p> <p><b>V.D.</b> Trocha carrozable</p>		
<p><b>Problemas Específico 3</b> ¿El potencial de generación de drenaje de ácidos de roca, para fabricar bloques de concreto-relave, influye sobre superficies de rodaduras en caminos tipo T?</p>	<p><b>Objetivos Específicos 3</b> Definir el potencial de generación de drenaje de ácidos de roca para fabricar bloques de concreto-relave para usarlo como superficies de rodaduras en caminos tipo T, aledaños a las zonas mineras</p>	<p><b>Hipótesis Específica 3</b> Definiendo el potencial de generación de drenaje de ácido de roca para fabricar bloques de concreto-relave, certifica su uso en caminos tipo T,</p>	<p><b>V.I</b> Potencial de generación de drenaje de ácido</p> <p><b>V.D.</b> Camino tipo T</p>		

### ANEXO 4: Matriz de Operacionalización

Variable	Indicador	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Instrumento	Item
<b>Variable independiente:</b>  Caracterización de relave	Relaves sólidos	Es el proceso de evaluar y describir características físicas, químicas y biológicas de residuos sólidos generados en el proceso de flotación conocidos como relaves, con el fin de comprender su composición y comportamiento ambiental	Es la descripción física y química de los minerales que se encuentran en el lodo. Implica llevar, probar y realizar análisis específicos con la finalidad de determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los relaves, como la granulometría, contenido de metales, pH, contenido de humedad, entre otros, a fin de obtener datos cuantitativos y cualitativos para su gestión y tratamiento adecuado	Caracterización geoquímica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ficha de contenido.</li> <li>• Motores de búsqueda de información científica</li> </ul>	2.6
	Efluentes liquidas de flotación			Caracterización Físico-químico		
	Efluentes cianurados			Caracterización del potencial de generación de drenaje ácido de roca en relaves		
<b>Variable dependiente:</b>  Caminos de bajo volumen de tránsito.	Sendero IMD (Indefinido)	Son caminos no pavimentados, con vías que tienen flujo de vehículos relativamente bajo, generalmente utilizadas en áreas rurales o poco pobladas	Los caminos de bajo volumen de tránsito son aquellas vías que presentan un flujo de vehículos relativamente bajo en comparación con otras carreteras principales.	Camino Trocha carrozable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ficha de contenido.</li> <li>• Motores de búsqueda de información científica</li> </ul>	2.6
	IMD (101-200)			Camino tipo T		
	IMD (de 51 a 100)					
	IMD (de 16 a 50)					
	IMD < 15					

## ANEXO 5: Protocolos e Instrumentos Utilizados

## Ficha Temática

Autor	Título de la investigación	Conclusiones	Variables principales	Comentario	Año de publicación
Romero Huayta M.J. & Salinas Navarro, Romero M.A.	Estudio experimental del concreto para adoquines tipo II, adicionando relaves mineros.	La adición del 10% de relave en los adoquines de concreto, es viable	V.I. Relave de minas  V.D. Adoquines tipo II	Se enfoca en la evaluación de los efectos de agregar relaves mineros al concreto utilizado para fabricar adoquines tipo II, analizando sus propiedades físicas, mecánicas y durabilidad.	2020
Rojas Huamaní, L. E., & Ventura Huamán, L. E.:	Utilización del relave minero para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamblable.	Bloque con 50% RM es de 79.43 kg/cm <sup>2</sup> , cumple con la NTP 399.602	V.I. Relave de minas  V.D. Bloque de concreto ensamblable	Consiste en incorporar los relaves mineros como parte de los agregados en la mezcla de concreto, aprovechando los materiales y reducir su impacto ambiental, al tiempo que se obtienen bloques de concreto que pueden ser ensamblados fácilmente para construir estructuras.	2017
Briones G., & Sangay W.	Efecto de la dosificación del aglomerante y del tiempo del curado, sobre la resistencia a la compresión del ladrillo fabricado a partir de relaves mineros del distrito de Pulán, Cajamarca, 2020.	Considerando el tiempo y la dosificación, a mayor cantidad de cemento, como aglomerante, mayor resistencia a la compresión. La variable tiempo de curado no permitió diferencias significativas en la resistencia a la compresión	V.I. Relave de minas  V.D. Resistencia del ladrillo	La dosificación del cemento es importante porque actúa como aglomerante y le da cohesión a la mezcla. Una dosificación adecuada del cemento puede mejorar la resistencia a la compresión y a la flexión del ladrillo, caso contrario lo debilita.	2020
	Propuesta de usode relaves de mina polimetálica en la fabricación de unidades	La utilización de relaves de minería polimetálica como material de agregado para la	V.I. Relave de minas	El relave de mina polimetálica se puede utilizar en la fabricación de unidades de albañilería incorporándolos como parte de los	

Cárdenas F.	de albañilería - caso ex unidad minera Mercedes 3.	fabricación de ladrillos, es viable	V.D. Unidades de albañilería	agregados en la mezcla de mortero. Esto puede ayudar a aprovechar los materiales residuales de la minería y reducir su impacto ambiental, siempre y cuando se realicen estudios previos para determinar la dosificación adecuada y garantizar la resistencia y durabilidad de las unidades de albañilería.	2019
Gutiérrez K.	Uso del relave en la elaboración de ladrillo maquinado y/o artesanal, obtenido del proceso de concentración metalúrgica de minerales auríferos por gravimetría y flotación - planta Prosuyo S.A.	El relave puede ser usado como materia prima en la elaboración de bloques de concreto, sin problemas de toxicidad.	V.I. Relave de minas  V.D. Ladrillo artesanal	Es posible utilizarla en la elaboración de ladrillos maquinados y/o artesanales mediante su incorporación como parte de los agregados en la mezcla de arcilla o sustratos similares. Es importante realizar estudios previos para determinar la dosificación adecuada y garantizar la resistencia y durabilidad de los ladrillos. También se pueden utilizar técnicas de estabilización química para mejorar las propiedades del relave y obtener ladrillos de mayor calidad.	2022
Costa A. V. & Gumieri A. G.	Bloques de hormigón entrelazados producidos con relaves de alimentación de sinterización	Para la industria minera brasilera, el uso de relaves representa una gran ventaja en términos de costo-efectividad. El objetivo fue garantizar el desarrollo sostenible de la industria de la construcción.	V.I. Relave de minas  V.D. Bloque de hormigón entrelazado	Presentan varias ventajas porque son resistentes, duraderos y tienen una buena capacidad de carga. Además, al utilizar relaves de alimentación de sinterización, se puede aprovechar un material residual de la industria y reducir su impacto ambiental.	2019

Valencia Rodríguez J. N., & Loyola Alama, M. F. (Guayaquil ULVR)	Elaboración de bloques de construcción en base de relave minero, desechos de obras cemento portland, para viviendas de interés social.	Es posible la fabricación de bloques de construcción con relaves y desechos de obras con cemento portland.	V.I. Relave + desechos de obras  V.D. Bloques de construcción	La elaboración de bloques de construcción con relave minero y desechos de obras de cemento Portland puede ser una opción importante para construir viviendas de interés social de manera sostenible y económica	2019
Zúñiga A. España	Ciencia e ingeniería de nuevos materiales en la fabricación de ladrillos mejorados tecnológicamente.	Se puede fabricar ladrillos adicionando relave de oro teniendo cuidado de encapsular las escorias de metales pesados alcalinizándolas con procesos de geopolimerización.	V.I. Relave de oro +desechos  V.D. Ladrillo mejorado tecnológicamente	Sí, es posible fabricar ladrillos adicionando relave de oro y encapsulando las escorias de metales pesados alcalinizándolas mediante procesos de geopolimerización, lo cual ayuda a reducir los impactos ambientales y aprovechar los residuos de manera segura	2018
Peña V. Chile	Hacia tecnologías de producción recicladas de relaves.	Se refiere a la necesidad de avanzar hacia tecnologías de producción recicladas de relaves. Concluye en la necesidad de avanzar hacia tecnologías que permitan reciclar los relaves y reducir su impacto ambiental <sup>1</sup> .	V.I. Reciclado de relave  V.D. Tecnología de producción	Las tecnologías de producción recicladas de relaves son importantes porque permiten aprovechar los residuos de la minería de manera más sostenible, reduciendo el impacto ambiental y optimizando el uso de recursos naturales	2021
Zuoan W. et al China	Utilización de relaves de minas de oro para producir ladrillos sinterizados.	Los parámetros óptimos del proceso para la preparación de los ladrillos sinterizados son un contenido de arcilla del 35%, una	V.I. Relave de oro  V.D. Ladrillo sinterizado	Se considera como una opción para aprovechar los residuos mineros y reducir su impacto ambiental. No es necesaria la utilización de relaves de minas de oro porque existen otras fuentes de materiales	2021

		humedad del 25%, una temperatura de cocción de 1030 ° C y un tiempo de retención de 105min.		disponibles para la fabricación de ladrillos sinterizados.	
Thejas H. & Hossiney N.	Una breve revisión sobre los impactos ambientales y la aplicación de relaves de mineral de hierro en el desarrollo de ladrillos ecológicos sostenibles.	El uso de relaves de mineral de hierro puede usarse para desarrollar bloques de construcción estables. Estos mostraron un gran potencial mejorando a los ladrillos cocidos con arcilla.	V.I. Relave de hierro  V.D. Ladrillos ecológicos sostenible	El uso de relaves de hierro para desarrollar bloques de construcción estables tiene potencial para mejorar los ladrillos cocidos con arcilla, ya que puede agregar propiedades como mayor resistencia y durabilidad a los materiales de construcción.	2022
Sr. Beulah, M. R. et al	Ladrillos de próxima generación basados en residuos mineros: un estudio de caso de relaves de mineral de hierro, barro rojo y utilización de GGBS* en ladrillos	La fabricación de ladrillos sin utilizar Horno de cocción es una forma de reducir la emisión de gas CO2 . Los resultados del estudio actual mostraron que la producción de ladrillos ecológicos mediante la utilización eficaz de materiales de desecho como IOT**, GGBS y lodo rojo con geo polimerización es un enfoque proactivo de sostenibilidad.	V.I. Relave de minas  V.D. Adoquines tipo II	La fabricación de ladrillos basados en residuos de hierro, barro rojo y la utilización de GGBS (escoria de alto horno) puede ser importante, porque ayuda a aprovechar y reciclar estos materiales, reduciendo el impacto ambiental y promoviendo la sostenibilidad en la construcción	2021