



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“ESTUDIO DE LOS RELAVES MINEROS PARA LA  
ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECO  
AMIGABLES”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Juan Jonatan Meza Vasquez

Bach. Wilder Mamani Silva

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huaman

Cajamarca - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

A nuestras familias por ser la razón principal de nuestra superación académica, a nuestros padres por su constante apoyo, a nuestros amigos por todos los buenos y malos momentos que pasamos de todos estos años de estudios y por compartir esta carrera tan interesante, extensa y llena de enseñanzas

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, a Dios por ayudarnos a cumplir este objetivo que nos trazamos hace algunos años atrás, a nuestras familias por ser un gran apoyo moral y consejos brindados, a los docentes que forman conforman el departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad Privada del Norte, por sus valiosos conocimientos, contribuyendo así a formarnos como buenos profesionales.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.1. Realidad problemática .....	9
1.2. Formulación del problema .....	15
1.3. Objetivos .....	15
1.4. Hipótesis .....	16
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>17</b>
2.1. Tipo de investigación .....	17
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	18
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	21
2.4. Procedimiento .....	22
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
3.1. Resultados de propiedades fisicoquímicas de ladrillos con relaves mineros.....	25
3.2. Diseños de mezclas para elaboración de ladrillos usando relaves mineros .....	32
3.3. Características Físicas y Mecánicas de los ladrillos elaborados con relaves mineros .....	37
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>59</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización geoquímica del relave in situ .....	25
Tabla 2. Resultados de Prueba de laboratorio a metales presentes en relaves mineros .....	26
Tabla 3. Resultados de ensayos de contenido metálico del lixiviado .....	27
Tabla 4. Resultado de análisis químico del relave minero de Ticapampa (metales pesados) .....	27
Tabla 5. Caracterización mineralógica del relave polimetálico de flotación por difracción de rayos X .....	28
Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos del relave minero de Ticapampa.....	28
Tabla 7. Resultados de Pruebas de análisis física-químico de los residuos metalúrgicos..	29
Tabla 8. Análisis granulométrico del relave minero de Ticapampa .....	29
Tabla 9. Resultados de ensayos por atributos, Físicos y Químicos .....	30
Tabla 10. Resultados de Ensayos Químicos .....	30
Tabla 11. Efecto del aumento del contenido de solución en el FO de discos .....	32
Tabla 12. Parámetros y sus respectivos valores para elaboración de ladrillos .....	32
Tabla 13. Diseños de mezclas.....	33
Tabla 14. Proporción para el diseño de mezcla con 8% de relave minero .....	33
Tabla 15. Mezclas con mejores factores de optimización (F.O) .....	34
Tabla 16. Molde de probetas .....	34
Tabla 17. Diseño de mezcla para sustitución del 15% de cemento por relave minero Ticapamapa.....	35
Tabla 18. Volúmenes de materiales utilizados .....	35
Tabla 19. Dimensiones del bloque de concreto .....	36
Tabla 20. Dosificación en gramos: Concreto con relave (10% de arena gruesa), arena gruesa y confitillo .....	36

Tabla 21. Balance de materiales .....	37
Tabla 22. Efecto de la temperatura de curado en la resistencia a la tracción de discos .....	38
Tabla 23. Resultados de ensayos mecánicos- Probetas alta densidad.....	39
Tabla 24. Resultados de la prueba de resistencia a la compresión de los concretos a los 7, 14 y 28 días .....	39
Tabla 25. Resultados preliminares del adoquín obtenido a partir de relave minero de Ticapampa .....	40
Tabla 26. Resultados de las características mecánicas del adoquín .....	40
Tabla 27. Resultados de compresión diametral (Ft), contracción después del secado (C <sub>ss</sub> ) y contracción (CT) para la mezcla: Ceibopamba (MCB) y Cangahua (MCA).....	41
Tabla 28. Resistencia Promedio (f'c) por tipo de ensayo y por edad .....	41
Tabla 29. Resistencia a la compresión después de la dosificación.....	42
Tabla 30. Resultados de compresión de las muestras con cálculos del ACI.....	42
Tabla 31. Resultados de la resistencia de compresión de 3 días de secado .....	43
Tabla 32. Resultados de la resistencia de compresión de 28 días de secado .....	43
Tabla 33. Cálculo de absorción de agua en ladrillos elaborados.....	43
Tabla 34. Cálculo de la Porosidad de ladrillos elaborados.....	44
Tabla 35. Pesos de adoquines .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición Química de muestra de relave - Fluorescencia de Rayos X .....	31
Figura 2. Resistencia a la compresión de 3 ladrillos ensayados.....	38

## RESUMEN

La presente investigación “Estudio de los Relaves Mineros para la elaboración de ladrillos eco amigables” tiene por objetivo estudiar los Relaves Mineros para la elaboración de ladrillos eco amigables. La metodología implica un tipo de investigación descriptivo, con diseño no experimental de corte transversal; la población lo conforman 24 investigaciones, para la muestra se ha aplicado el método no probabilístico, quedando con 10 estudios relacionados al uso de relaves mineros utilizados para la fabricación de ladrillo y/o materiales de construcción afines. Los resultados revelan una alta concentración de metales pesados: Fe, As y Pb; los diseños muestran sustituciones de 4 a 8% de relave minero por concreto con proporciones de 80/20, 60/40 y 70/30; asimismo, características como: densidad alrededor de 1.80 a 2.0 g/cm<sup>3</sup>, peso de 2.8 kg; resistencia promedio de 12 MPa. En conclusión, el uso de relaves mineros en la construcción de ladrillos sí será posible, dentro de las propiedades y características del relave minero de resaltan la concentración de los metales pesados, densidad, peso y resistencia; los diseños de mezclas son múltiples de acuerdo a los criterios de investigación; las características mecánicas cumplen con los estándares de construcción civil y ambientales.

**Palabras clave:** relaves mineros, ladrillos eco amigables, diseño de mezclas

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El presente estudio “Estudio de los Relaves Mineros para la elaboración de ladrillos eco amigables” tiene por objetivo estudiar los Relaves Mineros para la elaboración de ladrillos eco amigables.

Actualmente, todos los proyectos mineros de explotación tanto de mediana y gran escala sin importar el tipo de mineral; cuentan con depósitos de relaves y de desmonte que acumulan materiales sólidos finos, descartados de las operaciones de separación y sobre todo del mineral que posee un valor metálico de interés económico.

Romero y Flores (2010) mencionan que el Perú tiene aproximadamente 450 minas polimetálicas en estado de abandono, a las cuales se les llama pasivos ambientales mineros. Estos, representan una alteración al medio físico con el riesgo permanente de contaminación ambiental, generando un impacto visual negativo y perenne contaminación del medio físico circundante. Para evitar la expansión de los pasivos ambientales mineros se debe recurrir a un tratamiento sofisticado con el fin de reducir su existencia, a medida que esto se va afianzando puede ser de utilidad en definidos usos como: utilización de relaves mineros a base de aluminosilicatos como materia prima para la cerámica a base de mullita (Karhu et al., 2019).

Por otro lado, la composición química y física de los sólidos sedimentados en los depósitos de relaves es muy diversa; principalmente, son dependes de las características propias del mineral, del material circundante, y de los procesos metalúrgicos, químicos y físicos a los cuales ha sido sometido. Al ser emitidos al

ambiente significan un problema grave para la sociedad, flora y fauna; puesto que según Espín, Jarrín y Escoba (2017) los relaves presentan impactos ambientales tanto en fase sólida (los sólidos sedimentados en profundidad) como en fase acuosa (las aguas de salida del depósito de relaves).

Los relaves “son residuos no valiosos provenientes de la minería y el procesamiento de mineral”(Romero y Flores, 2010). Como el material es mayormente fino y húmedo, debe ser almacenado en botaderos de residuos industriales, los cuales deberán ser depositados en terrenos de relleno que han sido sellados empleando botaderos.

Los relaves mineros, “son los residuos sólidos mineros que resultan del proceso de flotación de minerales polimetálicos en las plantas concentradoras de las minas son conocidos en la minería como existiendo estos en sus dos modalidades, como pasivos mineros y activos mineros”(Romero y Flores, 2010), “son residuos sólidos producidos por el procesamiento de la minería” (Zhu et al., 2017).

Debido al enorme tamaño y las preocupaciones ambientales, la gestión y la utilización del lodo rojo y las colas de oro han recibido atención durante las últimas décadas, en este sentido, se ha propuesto realizar un proceso para la utilización del lodo rojo y las colas de oro para ladrillos de alta porosidad (Kim et al., 2018)

Antes de ser usados los relaves en la fabricación de ladrillos se debe de tratar el material con contenido de relaves, para ello existentes diversos método y tecnologías que ayudan a reducir el grado de contaminante que contiene, en especial metales pesados y aguas ácidas. Dentro de estos métodos, Flores et al. (2017) patentan el

“Método de Remediación Mrti Slfch”, consistente en la detoxificación de contaminantes en relaves metalúrgicos por las técnicas de flotación diferencial con aire y la concentración gravimétrica. Otro método es usando 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. Asimismo, en un estudio realizado por Zhu et al., (2017) los ladrillos permeables se prepararon mediante el método de sinterización parcial de agregados, utilizando ganga y relaves como agregados y aglutinante, respectivamente.

Una vez tratados los relaves se procede a añadir determinados insumos que ayuden a tener mayor consistencia en su estructura y cumplan con estándares que el mercado requiere, en este sentido Weishi et al., (2018) emplearon un acelerador de endurecimiento con trietanolamina y un agente impermeabilizante de emulsión de ácido esteárico.

Por otro lado, para cumplir con el requisito de material de aislamiento térmico en edificios, los ladrillos porosos con alta porosidad, alta resistencia y baja conductividad térmica fueron fabricados mediante tecnología de gel espuma utilizando relaves de hierro de desecho industrial como materia prima (Li et al., 2019)

Paladinez (2017) realizó su investigación “Fabricación de ladrillos a base de lodos de relaves de minas” con el propósito de indagar acerca de la posibilidad de fabricar ladrillos con mezclas de lodos de relaveras y otras fuentes naturales de silicatos, a través de geopolimerización y sinterizado, con el propósito de desarrollar nuevas

tecnologías de producción de materiales de construcción. Comprende un estudio experimental, consistente en tres etapas: caracterización de la materia prima, selección de la solución activadora y factores a intervenir en el proceso para su posterior análisis y caracterización mecánica de discos, se han realizado ensayos de compresión diametral utilizando el Brazilian Test (BT). En conclusión, una concentración molar de 15, un contenido de solución de 26% y temperatura de 120°C, resultó ser la mezcla óptima para la elaboración de ladrillos haciendo del relave de mina un candidato potencial para la fabricación de ladrillos.

Pereira (2018) desarrolló su tema “Estudio de factibilidad técnica de aprovechamiento de relave abandonado de oro coordenadas UTM N-6252732 Y E- 319762”, con el objetivo de proponer alternativas factibles de uso a un relave abandonado ubicado en la comuna de Paine, como materia prima en la fabricación de varios productos en la industria de la construcción. La metodología comprendió un análisis bajo lupa binocular, análisis de muestras por difracción de rayos X, cálculo de la humedad del relave, granulometría, análisis de elementos ferromagnéticos, densidad, esponjamiento, ensayos de análisis de fuerza y resistencia. Según los resultados arrojados y por las características homogéneas físicas se sustenta que el relave puede ser utilizado de forma directa como material de fabricación de ladrillos y como estéril en la mezcla con cemento.

Soto (2017) en su investigación "Elaboración de Adoquines Cerámicos con el uso de Puzolanas, aserrín y Relave Minero de Ticapampa, Recuay - Ancash" estableció como objetivo elaborar adoquines cerámicos, usando relave minero de Ticapampa. Se hizo en base a distintas concentraciones y proporciones de insumos, obteniendo un producto

final llamado adoquín, estructuralmente confiable. Los adoquines resultantes fueron puestos a ensayos de solubilidad, intemperismo para determinar la calidad y tipo de adoquín. Los resultados obtenidos indican que los adoquines no generan acidez a priori, sino más bien tiene características muy análogas a los adoquines mercadeados actualmente.

Soto (2017) en su estudio “Reaprovechamiento de residuos industriales de la minería metalúrgica y poliestireno expandido, elaborando adoquines para piso Rímac - 2017” tuvo por objetivo utilizar los residuos industriales de la minería metalúrgica y el poliestireno expandido en la elaboración de adoquines para piso. Para ejecutar este trabajo se analizaron sus características física-químicos del relave, tales como: concentraciones de metales (plomo, cadmio, mercurio, arsénico, etc.), pH, humedad. De las muestras se han seleccionado 2 para analizar su resistencia, obteniendo como resultado una resistencia de compresión de 376 y 340 kg/cm<sup>2</sup>, el cual cumple con los requisitos para ser usados en elaboración de adoquines.

Quichca (2016) realizó el proyecto “Diseño de mezcla de concreto F'c=175 Kg/cm<sup>2</sup> adicionando relave minero para tránsito ligero relavera Pacococha-P Virreyna–Castrovirreyna-Huancavelica”, con el fin de generar concreto de F'c=175kg/cm<sup>2</sup>. Se realizaron 2 diseños de mezcla, el primero se hizo con cemento, arena gruesa, piedra chancada y agua; el segundo cemento, arena gruesa, relave minero, piedra chancad y agua. Los resultados indican que al agregar relave minero se optimiza el agregado fino en 50%, brinda una resistencia con un margen del 10% sobre la resistencia promedio considerada en el diseño.

Cabe precisar que este estudio se inició con la revisión sistemática de la literatura, buscado fuentes informativas con carácter similar al presente tema. Primeramente, se priorizó en encontrar un relave abandonado mediante navegación web o fuentes primarias que conocían algún lugar con dichas condiciones, luego se procedió a la recolección de información preliminar.

Para hacer posible el proceso de revisión de la literatura científica se concretaron como términos de búsqueda: relave minero, mining tailings, tratamiento de relaves, tailings treatment, uso de relaves, use of tailings, elaboración de ladrillos, brick making. A la par, se definió como motor de búsqueda a redalyc; como base de datos multidisciplinarios a Scielo, Dialnet, y como buscador genérico de empleo Scencedirect y Google Académico.

Luego de realizar la búsqueda de información en función a la similitud del tema y a las palabras claves, se hizo una vista general y rápida de las bases informativas (Tesis, Artículos, Revistas, Pappers, Informes, Conferencias, Videos, Cursos), con ello se filtró y procedió a la etapa selección, aquí se incluyeron bases informativas que han sido publicadas en bases de datos científicos descritos anteriormente en idioma español, de acuerdo a los requerimientos de investigación sólo se han tomado en cuenta aquellos publicados con 10 año de antigüedad (entre los años 2009 al 2019) donde se describe y presenta un enfoque metodológico, procedimiento, procesamiento y estrategias de la tratamiento de Relaves Mineros para un uso o reuso para obtener nuevos productos, en este sentido se habla del ladrillo. Además, se tomaron aquellos estudios que en su estructura contienen resultados explícitos y afines con los objetivos de investigación.

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 han ido sufriendo alteraciones en su estructura, llegando al punto que son muy perniciosos y amenaza para la salud humana, un agente contaminante de gran escala. Por ende, desarrollando esta tesis se logrará determinar el aporte técnico, económico, ecológico, teórico, gracias a la descripción de propiedades físicas-mecánicas del ladrillo artesanal elaborado con relaves mineros. Asimismo, el uso de relaves en la elaboración de ladrillos 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.

## **1.2. Formulación del problema**

Con lo presentado anteriormente, se ha la formulación de la siguiente pregunta de investigación:

¿Será posible la elaboración de ladrillos eco amigables con Relaves Mineros?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Estudiar los Relaves Mineros para la elaboración de ladrillos eco amigables

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Describir las propiedades y características de los relaves mineros producto de la actividad minera.

Describir los diseño de mezcla de relaves mineros para la fabricación de ladrillos.

Identificar las propiedades y características que reúnen los ladrillos elaborados con relaves mineros

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

La elaboración de ladrillos eco amigables con relaves mineros sí serán posibles, por tanto, las propiedades y características de estos ladrillos para el sector construcción civil indican que son factibles económica y ambientalmente; es decir confieren propiedades aceptables por las normas tanto de construcción civil y normas ambientales que rigen los requisitos mínimos para ser usados con normalidad.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

#### **Descriptiva**

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”. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). “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 tomará como base la información proporcionada por las diferentes fuentes de información, respecto al uso de Relaves Mineros como insumo en la elaboración de ladrillos para la Construcción Civil.

Teóricamente, reúne información de investigaciones del sector minero y de bibliografía, con la finalidad de enlazar dichos antecedentes técnicos con el objetivo de esta investigación; en este sentido se investigan las técnicas, teorías y conocimientos de geomecánica la elaboración de ladrillos para la Construcción Civil utilizando los relaves mineros como insumo.

#### **Diseño de investigación**

##### **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). En este sentido, presenta una interpretación

y análisis de propiedades y características que reúne los relaves mineros, para su posterior uso en elaboración de ladrillos.

### **Transversal**

Los diseños de investigación transversal recolectan 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)

## **2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)**

### **Población**

La población, “es un conjunto finito o infinito de elementos, personas o instituciones que son motivo de investigación y tienen características comunes, la cual queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio” (Arias, 2012). En la presente tesis se consideró una población finita, puesto que se conoce el número exacto de elementos que constituyen el estudio, para este estudio se está considerando una población de 24 estudios afines al uso de Relaves Mineros como insumo en la elaboración de ladrillos para la Construcción Civil, considerando un alcance a nivel nacional como internacional.

### **Muestra**

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), menciona que la muestra “es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectan datos y que tiene que definirse o determinarse de ante mano con precisión”.

Con la finalidad de poder determinar la muestra emplearemos el método no probabilístico que “consiste en seleccionar a los individuos que convienen al investigador” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014)

Por lo tanto, la muestra está constituida por 10 (diez) estudios relacionados al uso de relaves mineros utilizados para la fabricación de ladrillo y/o materiales de construcción afines (Ver anexo 3). Los criterios de selección para la muestra son:

*Criterios de inclusión:* estudios que tienen un enfoque más práctico que teórico, esto hace referencia a que tiene resultados concisos, de manera explícita y fundamentada, además de mostrar una metodología bien elaborada; especialmente se consideró a estudios con contenido netamente de relaves mineros usados para elaboración de ladrillos.

*Criterio de exclusión:* se dejaron de lado los estudios que no presentan resultados técnicos, respecto al uso de relaves mineros como insumo para elaborar ladrillos.

### **Métodos de investigación**

*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 utilizará este método en el presente estudio para describir los productos terminados, llamados ladrillos; al mismo tiempo de dilucidar las condiciones que reúnen tanto el relave y ladrillos de acuerdo con las fuentes informativas seleccionadas.

*Método Analítico.* “Este método nos permitirá descomponer un todo en sus partes, con la finalidad de estudiar y conocer sus características, naturaleza y propiedades de los elementos para encontrar la verdad” .( Romero y Flores, 2010). Mediante este método se buscará los componentes lógicos como propiedades tanto de relaves mineros como de ladrillos, con ello se extraerán las conclusiones, en respuesta al problema de investigación y objetivos planteados.

*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 ladrillos 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 ladrillos

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

#### **Técnicas de investigación**

Las técnicas “constituyen el conjunto de mecanismos, medios o recursos dirigidos a recolectar, conservar, analizar y transmitir los datos de los fenómenos sobre los cuales se investiga”. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010). “Las técnicas son procedimientos o recursos fundamentales de recolección de información, de los que se vale el investigador para acercarse a los hechos y acceder a su conocimiento” (Abril, 2008).

#### **Instrumentos de investigación**

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.”

#### **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 y c) hojas de cálculo de Excel para organizar los

contenidos y cantidad de fuentes informativas como parte de la revisión sistemática de la literatura.

### **Técnicas e instrumentos de análisis de datos**

Después de haber obtenido la información y los datos requeridos, se procedió a ordenar, organizar, procesar, analizar e interpretar la información en Microsoft Excel, 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 deducir los características y propiedades tanto de relaves mineros como de ladrillos, a su vez de parámetros de diseño de mezcla. En este proceso se hizo uso de gráficos como: tablas y gráficos de barras, principalmente.

## **2.4. Procedimiento**

### **Etapa 1**

#### **Trabajo de pre - campo**

Consistió en la revisión sistemática de la literatura, buscado fuentes informativas con carácter similar al presente tema. Para lo cual se validó de recursos llamados buscadores virtuales de información, entre los utilizados se mencionan: Google Académico, Dialnet, Redalyc, Ebsco, Alicia.net, Scielo, Cybertesis, Science Direct.

### **Etapa 2**

#### **Trabajo de gabinete y laboratorio**

Comprende el análisis e interpretación de los resultados, para tal se hará el empleo de figuras y tablas haciendo uso de Microsoft Excel.

### **Etapa 3**

#### **Elaboración del proyecto de tesis**

Con los resultados obtenidos se procedió a la redacción de la tesis.

### **Etapa 4**

#### **Procedimiento para la obtención del agregado de 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.

#### **Procedimiento para la fabricación de ladrillos**

El proceso para la fabricación de baldosas y ladrillos a partir del agregado de construcción comprende (Romero y Flores, 2010):

- a. Proporcionar los moldes convencionales para los ladrillos y baldosas de acuerdo al tamaño y forma requeridos.

b. Preparar una mezcla homogénea con una proporción en:

- Peso de los gruesos del agregado de construcción, representa del 14 al 70% del peso total de la mezcla
- Cemento, representa del 40 al 70% del peso total de la mezcla
- Cal, representa del 1cal 10% del peso total de la mezcla
- Finos del agregado de construcción, representa del 10cal 22% del peso total de la mezcla

c) Agregar agua hasta obtener una mezcla homogénea.

d) Verter en cada molde correspondiente; la mezcla obtenida en los pasos anteriores.

e) Secar el ladrillo o baldosa en condiciones de temperatura ambiente por un periodo de 26 a 30 días.

### **Aspectos éticos**

El presente trabajo se realizará de acuerdo a los estándares que maneja la Universidad Privada del Norte, en tal sentido el autor:

- ✓ Estará sujeto a cumplir la normatividad institucional que rigen una investigación como derechos de autor.
- ✓ Revelará las fuentes y hallazgos informativos considerados para el presente trabajo, brindará información abierta y completa en beneficio de la comunidad científica e investigadora, la cual será como base para futuras y nacientes investigaciones, proporcionando la publicación de manera virtual en páginas propias de la Universidad Privada del Norte.
- ✓ Presentará un contenido entendible de todo el desarrollo de la tesis.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

#### 3.1. Resultados de propiedades fisicoquímicas de ladrillos con relaves mineros

Tabla 1:

*Caracterización geoquímica del relave in situ*

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

Fuente: Romero y flores (2010)

La Tabla 1 muestra los elementos metálicos presentes en un relave minero, donde indica que existe una considerable concentración Arsénico - As (más de 10 000 ppm)

Tabla 2:

*Resultados de Prueba de laboratorio a 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
Niquel (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

LDM: Limite de detección del método, ECA: Estándar de calidad ambiental

Fuente: Soto (2017)

La Tabla 2 muestran la presencia de metales pesados donde el calcio es el que esta con mayor concentración (+ de 40 000 mg/kg) y el elemento con menor cantidad es el berilio 0.16 mg/kg.

Tabla 3:

*Resultados de ensayos de contenido metálico del lixiviado*

Metales	Antes de la mezcla (mg/L)	Después de la mezcla	Limite EPA (mg/L)
Cobre (Cu)	3	2.677	5
Plomo (Pb)	2.963	1.54	5
Arsénico (As)	7,6	0,0005	5
Bario	60	50	100
Cadmio (Cd)	8,71	0.01007	1
Mercurio (Hg)	0,82	<0.0005	0.2
Plata (Ag)	3,54	0,00203	5
Selenio	0,4	0.005	25
Cromo (Cr)	2	0.1486	5

EPA: Enviromental Proteccion Agency

Fuente: Cárdenas (2019)

En la Tabla 3 se aprecia el resultados de elementos metálicos presentes antes de la mezcla y después de la misma, además de presentan los límites EPA para su comparación con los resultados obtenidos.

Tabla 4:

*Resultado de análisis químico del relave minero de Ticapampa (metales pesados)*

Análisis de muestra			Normas	
Elemento	Resultado (%)	Resultado (mg/Kg)	Estandares US-EPA 2002 (mg/kg)	ECAS de suelo (mg/kg)
Cu	0.012	120	50	
Pb	0.386	3860	500	1200
Cd	0.0006	5	20	22
Zn	0.052	520	200	
Mn	0.013	130		
Fe	5.396	53960	23000	
As	8.326	83260	20	140

EPA: Enviromental Proteccion Agency, ECA: Estándar de calidad ambiental

Fuente: Soto (2017)

De los resultados obtenidos y los valores presentados se puede inferir especialmente la alta concentración de hierro (Fe), arsénico (As) y plomo (Pb), de donde se concluye que existe una alta presencia de metales pesados en la muestra

### *Caracterización fisicoquímica*

Tabla 5:

*Caracterización mineralógica del relave polimetálico de flotación por difracción de rayos X*

Mineral	Porcentaje
Cuarzo	80.82
Muscovita	5.15
Jarosita	4.11
Yeso	3.45
Diáspora	2.79
Paligorskita	1.75
Clorita	1.21
Anhidrita	0.71

Fuente: Romero y flores (2010)

La presencia del cuarzo implica el mayor porcentaje en la caracterización mineralógica y la anhidrita la menor concentración.

Tabla 6:

*Parámetros fisicoquímicos del relave minero de Ticapampa*

Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica (CE)	Potencial Redox (MV)
19.6	1.95	8.58 mS	307

Fuente: Soto (2017)

La Tabla 7 muestra los parámetros fisicoquímicos del relave minero Ticapampa -Ancash, considerando la temperatura de 19.6°C, presenta una fuerte acidez (pH=1.95), conductividad eléctrica de 8.58 mS y un potencial redox de 307 de Mega voltios.

Tabla 7:

*Resultados de Pruebas de análisis física-químico de los residuos metalúrgicos*

Parámetros	Resultados
pH	2.7
Humedad	3.8%
Olor	Azufre
Temperatura	Ambiente
Color	Amarillo

Fuente: Soto (2017)

Se aprecia en la Tabla 8 que el pH del relave minero es muy ácido, del mismo modo se denota las propiedades como humedad, olor, temperatura y color.

**3.1.1. Análisis granulométrico**

Tabla 8:

*Análisis granulométrico del relave minero de Ticapampa*

Número de malla	Número de malla (mm)	Peso retenido (gr)	% de muestra
+18	0.000	0.000	0.00
+20	0.850	1.500	1.50
+45	0.354	10.888	10.89
+80	0.177	50.995	51.00
+100	0.150	24.594	24.59
+200	0.075	10.190	10.19
-200	0.075	1.878	1.88
Total		100.000	100.00

Fuente: Soto (2017)

Se presenta en la Tabla 5 la granulometría por número de malla, peso retenido y porcentaje de muestra, siendo mayor el peso retenido en la malla + 80.

### 3.1.2. Caracterización de la Materia prima – relaves mineros

Tabla 9:

*Resultados de ensayos por atributos, Físicos y Químicos*

<b>Propiedad</b>	<b>Características</b>
Sensación al tacto	Limo-arena
Consistencia	Frágil
Color	7.5Y [5/3]
Impurezas	Ninguna
Granulometría	%A(83.2) - %L(15) - %Ar(1.9)
Densidad Real	2.76 g/cm <sup>3</sup>
Densidad Aparente	1.28 g/cm <sup>3</sup>
Limite Líquido	19.5
Limite Plástico	18.07
Índice de Plasticidad	1.43

Fuente: Paladines (2016)

Las propiedades del relave mostrado en la Tabla 9 indican que tienen una consistencia frágil, contiene arena (A), limo (L) y arcilla (Ar) y no presenta impurezas.

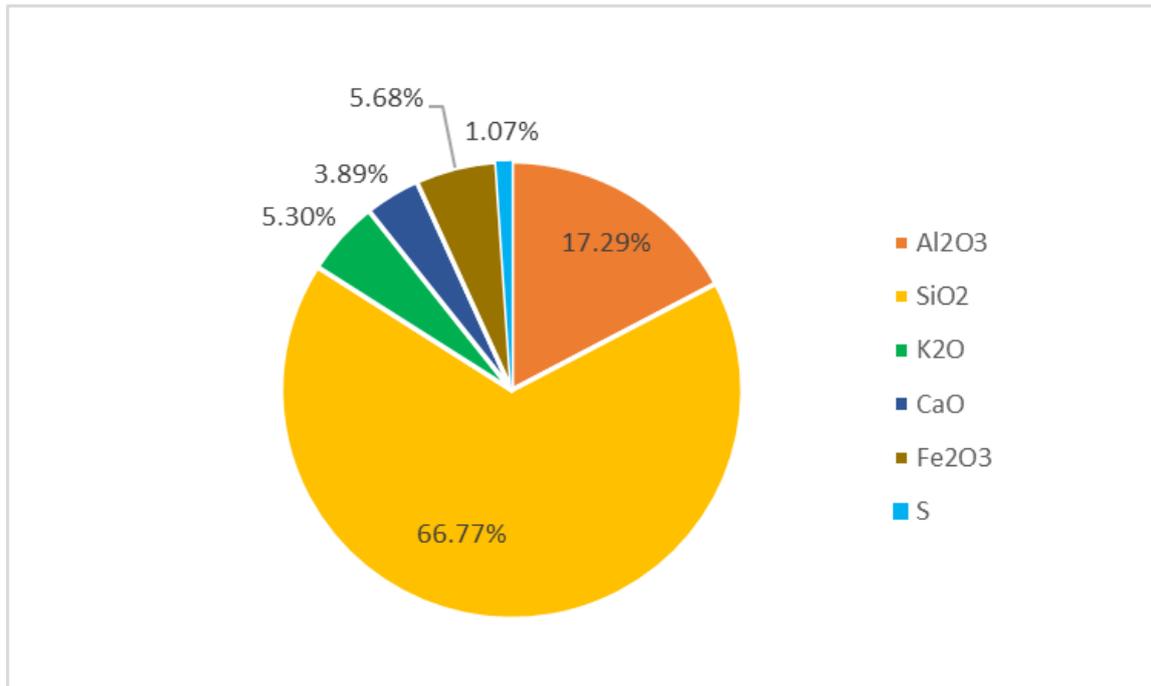
Tabla 10:

*Resultados de Ensayos Químicos*

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>
Determinación de Carbonatos	Ninguna
Determinación de Materia Orgánica	Ninguna
pH	8.06
Superficie Específica	10.4 m <sup>2</sup> /g

Fuente: Paladines (2016)

Se observa en la Tabla 10 que el relave no presenta carbonatos ni materia orgánica y un pH alcalino.



Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: óxido de aluminio , SiO<sub>2</sub>: óxido de silicio , K<sub>2</sub>O:óxido de potasio, CaO: óxido de calcio: , Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:óxido de hierro , S:azufre

*Figura 1.* Composición Química de muestra de relave - Fluorescencia de Rayos X

Fuente: Paladines (2016)

La Figura 1 dilucida los componentes presentes en el relave minero, realizado con Fluorescencia de Rayos X, del cual se concluye que el mayor porcentaje representa el cuarzo.

### ***3.1.3. Efecto de la temperatura de curado y contenido de solución***

Las variables tomadas en cuenta para el análisis de comportamiento mecánico tanto de las pastillas como los ladrillos fabricados fueron la concentración molar, el contenido de solución y la temperatura.

Tabla 11:

*Efecto del aumento del contenido de solución en el FO de discos*

CS(%)	CM(M)	T°(°C)	D(cm)	e(cm)	Carga (kg)	MPa	FO(MPa/kg)
24	10	90	5.07	1.55	27.84	0.220	4.31
		120	5.03	1.55	86.39	0.691	14.99
		150	5.09	1.52	42.14	0.336	6.46
		180	5.15	1.58	40.20	0.315	6.08
26	10	90	5.11	1.36	23.41	0.211	0.21
		120	5.11	1.45	69.38	0.587	0.59
		150	5.03	1.49	28.77	0.241	4.84
		180	5.20	1.51	26.85	0.211	4.2

CS: contenido de solución, CM: concentración molar, T°: temperatura, D: diámetro, e: espesor, FO: factor de optimización

Fuente: Paladines (2016)

El efecto de la solución en la factor de optimización (FO) mostrada en la Tabla 11 es mayor a una temperatura de 120°, un contenido de solución (CS) de 24 % y concentración molar (CM) de 10M.

### 3.2. Diseños de mezclas para elaboración de ladrillos usando relaves mineros

#### 3.2.1. Selección de la mezcla óptima

Tabla 12:

*Parámetros y sus respectivos valores para elaboración de ladrillos*

Parámetro	Cantidad
Contenido de solución	26%
Concentración Molar	15M
Temperatura	120°C

Fuente: Paladines (2016)

De acuerdo a la Tabla 12 se aprecian los parámetros para la elaboración de ladrillos con sus respectivos valores, estos parámetros son contenido de solución, concentración molar y temperatura.

Tabla 13:

*Diseños de mezclas*

Código de muestra	Porcentaje - volumen (%)			Porcentaje - masa (%)			Masa (gr.)			Solución alcalina (ml)	
	A	R	Ceniza de CA	A	R	Ceniza de CA	A	R	Ceniza de CA	NaOH/H <sub>2</sub> O	
A40R40C20	40	40	20	43.7	40.4	15.89	8.75	8.08	3.18	10	
A40R30C30	40	30	30	44.7	31	24.36	8.94	6.2	4.87	10	
A50R20C30	50	20	30	55.4	20.5	24.16	11.1	4.09	4.83	10	
A40R50C10	40	50	10	42.8	49.4	7.78	8.56	9.88	1.56	10	
A70R20C10	70	20	10	73.1	19.3	7.59	14.6	3.86	1.52	10	
A50R40C10	50	40	10	53.1	39.2	7.72	10.6	7.84	1.54	10	
A50R30C20	50	30	20	54.2	30	15.76	10.8	6	3.15	10	
A60R20C20	60	20	20	64.5	19.9	15.63	12.9	3.97	3.13	10	
A60R30C10	60	30	10	63.2	29.2	7.65	12.6	5.84	1.53	10	
Total (gr)							98.9	55.8	25.31		

\*Arena (A), relave (R) y ceniza de cáscara de arroz (CA)

Fuente: Tejada y Loayza (2017)

En la Tabla 13 se presentan un diseño de mezcla para 9 muestras con sus respectivas proporciones de arena, relave y ceniza de cáscara de arroz.

Tabla 14:

*Proporción para el diseño de mezcla con 8% de relave minero*

Materiales	Proporciones Finales	Unidades	N°	Total
Relave	0.14	kg	9	1.26
Cemento	1.53	kg	9	13.77
Agua de Mezclado	1.19	Lt	9	10.71
Agregado fino	4.88	kg	9	43.92
Agregado grueso	5.17	kg	9	46.53

Fuente: Melgarejo (2018)

Los presentados en la Tabla 14, indican la proporción de materiales en la mezcla para fabricación de ladrillos, siendo el 8% de relave minero, cuyo valor es: 0.14kg.

Tabla 15:

*Mezclas con mejores factores de optimización (F.O)*

Muestra 1	Muestra 2	Porcentaje (%)	F.O. (MPa/kg)
Mina Ceibopamba	Mina Cangahua	80/20	47.0
Mina Ceibopamba	Mina Cangahua	60/40	44.79
Mina Ceibopamba	Mina de Arena Fina	90/10	20.7
Mina Ceibopamba	Mina Paland	70/30	16.45
Mina Ceibopamba	Mina Chinguilamaca	70/30	22.37
Mina Ceibopamba	Mina de Arena Fina	90/10	17.17

Fuente: Zúñiga, Hernández, Fernández, Zúñiga y Sánchez (2015)

Se aprecia en la Tabla 15 las proporciones de relave obtenido de cuatro (04) proyectos mineros, obteniendo así los mejores factores de optimización, siendo mayor en la proporción de 80/20, cuyo valor asciende a 47 MPa/kg.

Tabla 16:

*Molde de probetas*

Diámetro (m)	0.1524
Altura (m)	0.3048
% Desperdicio	10.00%
N° Probetas	9.00
Volumen (m3)	0.00556

Fuente: Melgarejo (2018)

El diseño del molde de probetas considera las variables geométricas de diámetro, altura y volumen; así como del porcentaje de desperdicios y la cantidad de probetas elaboradas.

Tabla 17:

*Diseño de mezcla para sustitución del 15% de cemento por relave minero Ticapamapa*

Material	Proporción	Unidades	N° probetas	Total
Cemento	0.044	kg	12	0.53
Agua de mesclado	0.034	Lts	12	0.408
Agregados finos	0.209	kg	12	2.506
Relave minero	0.008	kg	12	0.094

Fuente: Namuche (2018)

Nota: dimensiones de probeta: cubo de 0.05 m, % de desperdicio 10%

De acuerdo con la Tabla 17, se ha realizado un diseño de mezcla sustituyendo el 15% de cemento por relave minero, con ello se considera materiales con sus respectivas proporciones.

Tabla 18:

*Volúmenes de materiales utilizados*

Material	Cantidad de material	
	Para 1 m <sup>3</sup>	Para 1 Ladrillo
Agua	235.9 lt	1.27 lt
Cemento	265.38 kg	1.43 kg
Agregado Grueso	819.8 kg	4.41 kg
Agregado Fino	476.71 kg	2.56 kg
Relave Minero	656.2 kg	3.53 kg

Fuente: Cárdenas (2019)

En la Tabla 18 se observa el material a usar en cantidad para la elaboración de un ladrillo y para un metro cúbico de mezcla, considerando el uso de relave de minero.

Tabla 19:

*Dimensiones del bloque de concreto*

Largo	39.00 cm
Ancho	14.00 cm
Alto	19.00 cm
Volumen total	13074 cm <sup>3</sup>
Vacíos	2
Volumen de vacíos	5006.5 cm <sup>3</sup>
Volumen total de concreto	5367.5 cm <sup>3</sup>

Fuente: Cárdenas (2019)

La Tabla 19 presenta los parámetros geométricos del bloque de concreto a elaborar (ver Anexo 2).

Tabla 20:

*Dosificación en gramos: Concreto con relave (10% de arena gruesa), arena gruesa y confitillo*

Código	Cemento	AG	AF1	AF2
D1-1	1375	5200	4355	439
D1-2	1222	4622	5162	520
D1-3	1100	4160	5807	585
D1-4	957	5426	4545	458
D1-5	846	4800	5361	540
D1-6	759	4303	6007	605
D1-7	733	5547	4646	468
D1-8	647	4894	5466	550
D1-9	579	4379	6113	616

AG=Agregado grueso (confitillo), F1 = Arena gruesa, AF2= Relave

Fuente: Cárdenas (2019)

En las nueve muestras manifiestas en la Tabla 20, se ha utilizado materiales proporcionalmente de cemento, arena gruesa, agregado grueso y relave minero.

Tabla 21:

*Balance de materiales*

Materiales	Número de muestras			
	1	2	3	4
Relave (g)	500	680	400	700
Arena (g)	500	300	600	200
Cemento (g)	500	500	500	545
Tecnopor (g)	5	5	5	5
Agua (ml)	345	365	345	400
Total	1850	1850	1850	1850

Fuente: Soto (2017)

Otro de los diseños se atisba en la Tabla 21, la cual presenta la utilización de cinco elementos (arena, agua, relave cemento y Tecnopor) para un total de 4 muestras.

### 3.3. Características Físicas y Mecánicas de los ladrillos elaborados con relaves mineros

#### 3.3.1. Características Físicas

Según Paladines (2016), los ladrillos elaborados muestran un color gris claro luego de desarrollarse el proceso de curado. La medida de la densidad de los ladrillos elaborados se encuentra alrededor de 1.80 a 2.0 g/cm<sup>3</sup> y su peso cercano a los 2.8 kg



Figura 2. Ladrillo elaborado con mezcla óptima (53)

Fuente: Paladines (2016)

### 3.3.2. Características Mecánicas

Tabla 22:

*Efecto de la temperatura de curado en la resistencia a la tracción de discos*

CS(%)	CM (M)	T° (°C)	D(cm)	e(cm)	Carga (kg)	MPa	FO(MPa/kg)
22	10	90	5.04	1.65	22.60	0.169	3.29
		120	5.05	1.81	26.17	0.180	3.68
		150	5.04	1.54	42.80	0.342	6.44
		180	5.07	1.62	58.76	0.439	8.25

CS: contenido de solución, CM: concentración molar, T°: temperatura, D: diámetro, e: espesor, FO: factor de optimización

Fuente: Paladines (2016)

La Tabla 22 presenta el efecto de la temperatura de curado en la resistencia a la tracción, a partir de 22% de contenido de solución, 10M concentración molar, a diferentes temperaturas para la evaluación de la fuerza de optimización. Considerando como insumo al relave minero.

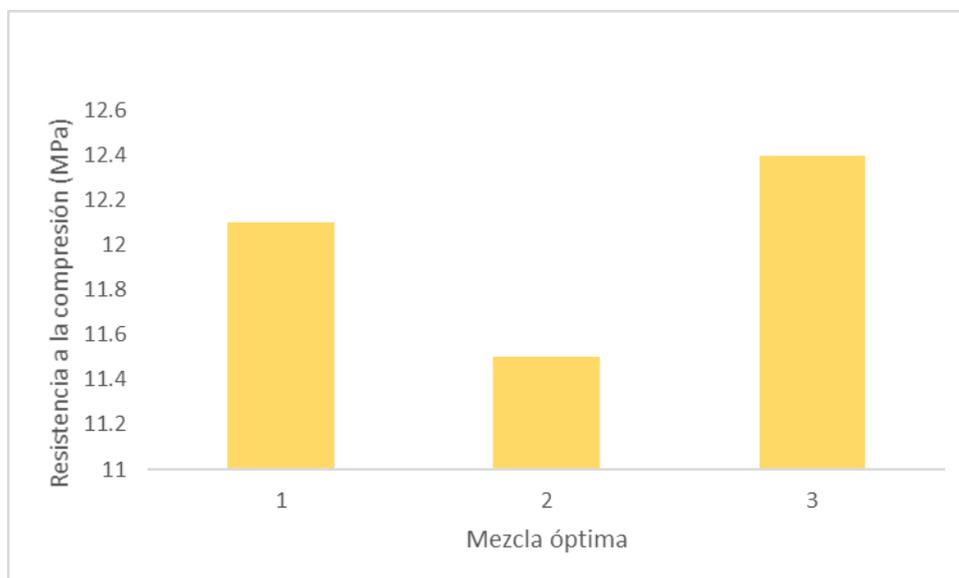


Figura 3. Resistencia a la compresión de 3 ladrillos ensayados

Fuente: Paladines (2016)

En la Figura 2 se denota la resistencia a la compresión de tres ladrillos como muestra, en el ladrillo 3 se aprecia una mayor resistencia a la compresión y el ladrillo 2 presenta la menor resistencia a la compresión (MPa).

Tabla 23:

*Resultados de ensayos mecánicos- Probetas alta densidad*

Código	Resistencia (MPa)
A70R20C10	39.37
A60R20C20	38.38
A60R30C10	33.96
A40R50C10	32.53
A40R40C20	30.06
A50R30C20	23.05
A50R40C10	22.48
A50R20C30	11.05
A40R30C30	5.39

Fuente: Tejada y Loayza (2017)

De las nueve muestras, los resultados de ensayos mecánicos indican que la resistencia mayor es de 39.37 MPa y la menor de 5.39 MPa

Tabla 24:

*Resultados de la prueba de resistencia a la compresión de los concretos a los 7, 14 y 28 días*

Muestra	Resistencia a la compresión a los 7 días	Resistencia a la compresión a los 14 días	Resistencia a la compresión a los 28 días
N14	175.42 kg/cm <sup>2</sup>	175.42 kg/cm <sup>2</sup>	222.11 kg/cm <sup>2</sup>
N15	24.30 kg/cm <sup>2</sup>	24.30 kg/cm <sup>2</sup>	31.00 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: García (2015)

En el caso de la Tabla 24, la resistencia a la compresión al final de los 28 alcanzó una valor de 222.11 kg/cm<sup>2</sup> en la muestra N14 y de 31 kg/cm<sup>2</sup> en la muestra N15.

Tabla 25:

*Resultados preliminares del adoquín obtenido a partir de relave minero de Ticapampa*

Tipo de adoquin	Peso inicial (gr.)	Peso final (gr.)	% de humedad	Resistencia al concreto (tn)	pH
9A	1672	1494	10.645	1	13
9B	1686	1490	10.671	1	13
9C	1669	1499	10.614	1	13

Fuente: Soto (2017)

En la Tabla 25 se presentan los resultados de un adoquín elaborado con relave de Ticapampa, en total se han hecho 3 adoquines, de donde se resalta que la resistencia al concreto es de 1 tn y un pH fuertemente alcalino.

Tabla 26:

*Resultados de las características mecánicas del adoquín*

Item	Escala	Resultado
Acabado	Liso Rayado	Los adoquines obtenidos en la parte superior, frontal y lateral tienen el acabado liso. A pesar de la presencia del cuarzo granulado estas tienen el acabado liso, solo en la parte de la base esta tiene el acabado de rugoso a rayado.
Volumen	cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	800 cm <sup>3</sup>
Resistencia	Tn	1 tonelada
Fisuras	1-14	el adoquín al realizarse con la prensa esta la compacta uniformemente y prácticamente retira las burbujas de aire formado. Al secado estas no presentan fisuras ni grietas

Fuente: Soto (2017)

De acuerdo con la tabla 26, el adoquín obtenido por Soto (2017), presenta un acabado liso en la parte superior, frontal y lateral; mientras que en la base presenta un acabado rugoso a rayado. El volumen del adoquín es de 800 cm<sup>3</sup>, y al estar seco no presenta fisura alguna ni agrietamiento.

Tabla 27:

*Resultados de compresión diametral (Ft), contracción después del secado (Css) y contracción (CT) para la mezcla: Ceibopamba (MCB) y Cangahua (MCA)*

Mezcla	Porcentaje (%)	Ft (MPa)	FO (MPa/kg)	Css (%)	CT (%)
MCB/MCA	50/50	3.91	36.61	8.88	9.67
	60/40	4.49	44.79	3.31	6.75
	70/30	2.60	26.77	3.51	11.28
	80/20	4.72	47.00	3.25	5.51
	100/0	3.50	34.72	6.66	10.30
	30/70	3.52	34.53	2.18	7.01

Fuente: Zúñiga, Hernández, Fernández, Zúñiga y Sánchez (2015)

En la Tabla 27 se presenta la proporción porcentual, la compresión diametral (Ft), la fuerza de optimización (FO) y la contracción en %.

Tabla 28:

*Resistencia Promedio (f'c) por tipo de ensayo y por edad*

Diseño de Mortero	Concreto patrón		Reemplazo de cemento por relave minero					
			5%		10%		15%	
Edad (días)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	(%)
0	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
7	146.1	146%	82.28	82%	78.24	78%	115.71	116%
14	165.4	165%	118.84	119%	131.09	131%	125.6	126%
28	169.24	169%	132.54	133%	155.13	155%	169.73	170%

Fuente: Namuche (2018) N1

La Tabla 28 muestra la resistencia promedio en función a los días de secado y al reemplazo proporcional de cemento por relave minero.

Tabla 29:

*Resistencia a la compresión después de la dosificación*

Código	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )		
	7 días	14 días	28 días
D1-1	187.5	217.2	230.5
D1-2	102.5	105.1	120.5
D1-3	125.30	131.20	139.04
D1-4	140.50	158.40	116.16
D1-5	84.60	96.50	101.2
D1-6	39.50	55.70	79.2
D1-7	38.50	46.50	50.1
D1-8	33.60	45.20	54.01
D1-9	26.50	35.40	45.20

Fuente: Cárdenas (2019)

De la Tabla 29 se deduce que a los 28 días la resistencia a la compresión es mucho mayor que a los días 14 y 7 de dosificación.

Tabla 30:

*Resultados de compresión de las muestras con cálculos del ACI*

Espécimen	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	% hueco	f'c kg/cm <sup>2</sup>
1	39.2	14.0	19.1	50.23	110.2
2	39.0	14.2	19.0	49.78	112.5
3	39.1	14.1	19.1	51.15	109.6

ACI: American Concrete Institute

Fuente: Cárdenas (2019)

En la Tabla 30 se muestran resultados de la compresión de 3 muestras, siendo la muestra 2 en función a sus dimensiones de diseño del ladrillo logra alcanzar una resistencia de 112.5 kg/cm<sup>2</sup>, mayor al de las 2 muestras restantes.

Tabla 31:

*Resultados de la resistencia de compresión de 3 días de secado*

Numero de muestras	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
M2	150	2
M4	100	1

Fuente: Soto (2017)

La Tabla 31 presenta la resistencia a la compresión de 2 muestras de ladrillo considerando una aplicación de carga por muestra, después de 3 días de secado.

Tabla 32:

*Resultados de la resistencia de compresión de 28 días de secado*

Numero de muestras	Carga máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
M4	66,618	376
M3	60,356	340

Fuente: Soto (2017)

La Tabla 32 muestra la resistencia a la compresión de 2 muestras de ladrillo considerando una aplicación de carga por muestra, después de 28 días de secado

Tabla 33:

*Cálculo de absorción de agua en ladrillos elaborados*

Ladrillo	W seco (g)	W saturado (24h)(g)	Adsorción (%)
1	2444.75	3229.2	32.09
2	2470.3	3251.12	31.61
3	2501.35	3312.8	32.44

Fuente: Paladines (2016)

Otra de las propiedades de los ladrillos elaborados usando relave minero es la absorción, muestra de ello en la Tabla 32 se muestra la cantidad de ladrillos, parámetros de peso (W) seco y saturado, y el porcentaje de absorción.

Tabla 34:

*Cálculo de la Porosidad de ladrillos elaborados*

Variable	Ladrillos		
	1	2	3
Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )	2.76	2.76	2.76
Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.51	1.44	1.49
Wseco (g)	2444.75	2470.3	2501.35
W saturado (24 h) (g)	3229.2	3251.12	3312.8
W sumergido (g)	1221.4	1279.9	1302.6
Porosidad Abierta (%)	39.07	39.61	40.37
Porosidad Cerrada (%)	6.22	8.22	5.64
Porosidad Total (%)	45.29	47.83	46.01

Fuente: Paladines (2016)

En la Tabla 34 se observa la porosidad de tres ladrillos elaborados, el ladrillo 2 es el que presenta una porosidad mayor de lo 3, siendo la porosidad total de 46.01%.

Tabla 35:

*Pesos de adoquines*

Adoquín	Peso kg
Muestra patrón	3.5
Muestra con relave	3

Fuente: Soto (2017)

El peso del adoquín con relave es menor que el adoquín patrón o sin relave (Tabla 35)

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

#### *Propiedades fisicoquímicas de ladrillos con relaves mineros*

En función al primer objetivo específico de describir las propiedades y características de los relaves mineros se expresa lo siguiente, considerando los resultados presentados en la Tabla 1, se muestra la caracterización geoquímica del relave in situ, se aprecia la presencia de los metales pesados como Ag, Al, As, Ba, Be, Ca y Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, La, Mg, Mo, Mn, Ti, Sb, P, Pb, S, Sr, U, V, W, Zn, Au. De acuerdo con Soto (2017) determinó las características físicas químicas del residuo, donde algunos de los metales como Pb, As y Hg se encuentran en concentraciones que sobrepasa el estándar de calidad del suelo comercial industrial (Tabla 2).

En concordancia con Cárdenas (2019) el contenido metálico del antes y después de uso de los relaves mostrando que en ninguno de los casos sobrepasa los estándares del EPA, esta reducción se debe a la combinación con el cemento, que encapsula los metales (Tabla 3). Por su parte Soto (2017) infirió que existe alta concentración de metales pesados: Fe, As y Pb (Tabla 4).

Por su parte Romero y flores (2010) en el análisis de difracción de rayos X, obtuvo un alto contenido de sílice cuyos valores comprende entre 80.82 y 91.27%, así como presencia de yeso, y silicatos hidratados como la muscovita; éstos minerales, facilitan el proceso de encapsulamiento de metales pesados (Tabla 5)

Soto (2017) en la Tabla 6 muestra que el relave minero de Ticapampa tiene un Ph fuertemente ácido, debido a la ausencia de carbonatos, la falta de disponibilidad de

elementos (Ca, Mg, Cl) pero indica la presencia de metales pesados como Mn, Al y Fe. En cuanto al valor de la conductividad eléctrica el relave minero es fuertemente salino; el resultado del potencial Redox es un indicador que el relave favorece a las reacciones de oxidación.

Por su parte Soto (2017) identificó las principales características físicas y químicas del relave, resultando que los metales con valores superiores al ECA de suelo fueron: As (1076.5 mg/Kg.), Cd (110.91 mg/kg.), Cr (5.59 mg. /kg.) y Pb (>5000 mg. /kg.). Los residuos de relave presentaron un pH igual a 2.7, de coloración amarillenta y textura ligeramente arcillosa, con una humedad de 3.8% (Tabla 7)

Concerniente a la caracterización de la Materia prima (relaves mineros), Soto (2017) en la Tabla 8 muestra que el 51.00% de la muestra analizada presenta una granulometría media; siendo este un buen indicador para la formación del adoquín (Soto, 2017); según Paladines (2016) en su ensayo de granulometría realizado para la muestra de relave presentó los siguientes resultados: un 83.1% de contenido de arena, un 15% de limo y 1.9% de arcilla. Asimismo, menciona que el relave usado presentó una baja plasticidad, es decir, se obtuvo un límite plástico (LP) de 18.07, y límite líquido (LL) de 19.5, lo que permite obtener un índice de plasticidad (IP) de 1.43, tal como se observa en la Tabla 9. A su vez, el material analizado no presentó ninguna reacción a las soluciones utilizadas tanto para la determinación de carbonatos como para materia orgánica, el pH del suelo fue de 8.06 (Tabla 10), lo que quiere decir que es un suelo con moderada alcalinidad.

Los resultados de Paladines (2016) mostrados en la Figura 1, indican que los óxidos que gobiernan la composición química de la muestra analizada son los de silicio con

66.67% y el óxido de aluminio con 17.29%, seguido está el óxido de potasio en un 5.3%, que resulta beneficioso porque aporta a la formación de la estructura geopolimérica. Además, se puede apreciar azufre en 1.07%, el cual es dañino en caso de someterse a altas temperaturas, con lo cual, la temperatura máxima a la que se llegarían a producir los ladrillos sería de 120 °C, evitando la generación de estos gases.

En la Tabla 11, Paladines (2016) muestra que al incrementar el contenido de solución (CS) y temperatura (T), el factor de optimización (FO) calculado subió hasta 14.99, lo que indica que la temperatura bajo estas condiciones resulta beneficiosa. Con un CS del 24% y una T de 120 °C se obtuvo un FO igual a 14.99 MPa/kg. Así mismo para el caso en el que el CS es el 26% y T de 150 °C, el FO alcanzó un valor de 4.84 MPa/kg. De acuerdo con Zúñiga, Hernández, Fernández, Zúñiga y Sánchez (2015), si el contenido de solución aumenta, hay una disminución en los valores de FO cuando el contenido de solución cambia de 24% a 26%. Esta decadencia se debe a la rápida evaporación de la solución sin posibilidad de que se desarrolle el proceso químico.

#### *Diseños de mezclas para elaboración de ladrillos usando relaves mineros*

De acuerdo con el objetivo describir diseños de mezclas para la elaboración de ladrillos con relaves mineros, Paladines (2016), expresa que el contenido de solución y la concentración molar son factores esenciales que aportan una excelente resistencia mecánica. En su diseño Zúñiga et al., (2015) consideraron 26% de contenido de solución, concentración alcalina de 15M y temperatura de 120 °C los cuales proveen características mecánicas ideales para su uso en la construcción. Por

ende, el uso de los relaves de minera en la elaboración de ladrillo es técnicamente factible y una alternativa al uso de arcillas, con lo cual se reduce el impacto ambiental, originado en el proceso de cocción de ladrillos artesanales por la quema de leña altas temperatura (Tabla 12).

En la Tabla 13 se presentan 9 muestras realizadas por Tejada y Loayza (2017) con sus respectivas proporciones de arena, relave y ceniza de cáscara de arroz, tanto en porcentaje de volumen, masa como de masa en gramos; considerado una solución alcalina estándar de 10 ml de Hidróxido de sodio (NaOH).

Los diseño de mezclas de Melgarejo (2018), muestran que con la sustitución con 4 - 8% de relave minero se puede trabajar en construcciones civiles ya que no presenta mucha varianza pero siempre y cuando sean obras de concreto simple (Tabla 14). Según Zúñiga et al., (2015) las mejores proporciones son 80/20, 60/40 y 70/30, con lo cual se obtienen factores aceptables de optimización, siendo 47, 44.79 y 22.37 MPa/kg respectivamente (Tabla 15), esto se debe a la acción de la temperatura, la cual es ideal para cocción a 950 °C.

Melgarejo (2018), realizó un diseño de probetas en forma de un cilindro recto de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto (Tabla 16); dichas probetas deben ser de acero, hierro forjado u otro material no absorbente y que no se mezcle con el cemento.

Según las proporciones trabajadas por Namunche (2018) mostradas en la tabla 17, indican el uso de cemento, agua, agregados finos y relaves mineros como materiales de insumo; implicando una sustitución del 15% de relave minero por cemento. El

autor realizó este diseño porque los relaves en las proporciones trabajadas no incorporan contenido de aire significativo a las mezclas de concreto, considerando que los relaves en las proporciones trabajadas no hacen variar significativamente el SLUMP del concreto.

Otro de los diseños de mezclas la realizó Cárdenas (2019) en conformidad con las Tablas 18 y 19 donde presenta que para la elaboración de un ladrillo se requiere de 656.2 kg de relave minero y que con 1 m<sup>3</sup> se pueden fabricar aproximadamente 186 ladrillos. Del mismo modo en la Tabla 20, se muestra las proporciones de relaves mineros representa un 10% de la mezcla. También Soto (2017) realizó muestras con diferentes proporciones de relave, las cuales fueron preparadas con diferentes proporciones de relave, poliestireno expandido y los agregados (Tabla 21).

#### *Características Físicas y Mecánicas de los ladrillos elaborados con relaves mineros*

De acuerdo con el objetivo de propiedades y características de los ladrillos, Paladines (2016) demostró que estos muestran un color gris claro luego de desarrollarse el proceso de curado, con una densidad alrededor de 1.80 a 2.0 g/cm<sup>3</sup> y un peso de 2.8 kg. Además, como observa en la tabla 22 la temperatura tiene un efecto importante en el aumento del factor de optimización (FO) en las siguientes condiciones: Concentración molar (CM) de 10 y contenido de solución (CS) de 22%, donde se aprecia un incremento significativo a medida que la temperatura de curado aumenta. Asimismo, Paladines aplicó el ensayo de compresión simple a los ladrillos elaborados y se comparó con la normativa vigente (NTE INEN 0297) resultado que su resistencia promedio fue de 12 MPa luego de 72 hrs de curado (Figura 3), lo que garantiza la existencia de una buena adherencia entre las partículas de la materia

prima formando así una estructura compacta y con buenas características mecánicas (2019). De acuerdo con la Tabla 23 la probeta A70R20C10 fue la que alcanzó la resistencia a la compresión más alta (39.37 MPa), esta probeta tuvo mayor proporción de arena fina y una cantidad simétrica de relave y ceniza, ya que gracias a sus composiciones químicas mejoró el proceso de geopolimerización, gestando excelentes propiedades (Tejada y Loayza, 2017).

Por otro lado García (2015) en el caso del concreto hidráulico obtuvo una resistencia de 222.11 kg/cm<sup>2</sup> lo cual sí “puede utilizarse en la construcción de edificaciones habitacionales de poca altura” (Tabla 24) y el celular, puede usarse para bloques y paneles de concreto para las capas externas de edificios, paredes divisoras, losas de concreto para techos y pisos. Asimismo, Soto (2017) obtuvo un peso de los adoquines cercano al adoquín muestra ya que este pesa 1500 g. (Tabla 25). Las características mecánicas obtenidas en el adoquín (Tabla 26) indican que la adición de aditivos a la mezcla disminuye considerablemente la consistencia del adoquín (27.2 %). Sin embargo el aditivo aparte de ayudar a neutralizar mejora el acabado del producto enmarcado en la no presencia de fisuras ni de grietas.

De la Tabla 27 se infiere que la compresión diametral (Ft) toma un mayor valor de 4.72 MPa, la FO es mayor al tomar un valor de 47MPa/kg y la contracción es mayor cuando toma el valor de 11.28%. Además el FO indica los valores más altos para las mezclas en porcentaje de 60/40 y 80/2. ( Zúñiga et al., 2015)

Namuche (2018) determinó que a los siete días la resistencia de las probetas de concreto fueron 82, 78 y 115 Kg/cm<sup>2</sup> con reemplazo de cemento por relave de 5, 10 y 15% respectivamente; a los 14 días obtuvo 118, 131 y 125 Kg/cm<sup>2</sup>; y a los 28 días

se determinó la resistencia de 132, 155 y 169 Kg/cm<sup>2</sup> (Tabla 28). Concluyendo que las sustituciones realizadas superan la resistencia de  $F'c = 100$  kg/cm<sup>2</sup>, por tanto, no afecta la resistencia del mortero de albañilería, y que el agregado de construcción obtenido a partir de los relaves mineros polimetálicos no es contaminante.

Comparado con los resultados de Cárdenas (2019) quien obtuvo una resistencia a la compresión de 230.5 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días; en su segunda muestra utilizó el diseño del ACI obteniendo una resistencia a la compresión de 112 kg/cm<sup>2</sup>. Con lo cual se puede apreciar como el uso de relave como agregado está dentro de los requerimientos de la NTP 399.602 (Tabla 29 y Tabla 30).

Discrepando con Soto (2017) quien obtuvo como resultado resistencias de 1 y 2 kg/cm<sup>2</sup> (Tabla 31) después de 3 días de secado, lo que nos demuestra que no son válidos las proporciones ni el tiempo de secado de esas muestras. Mientras que a los 28 días secado obtuvo una resistencia 376 y 340 kg/cm<sup>2</sup> (Tabla 32), lo cual es aceptable elaborar estos adoquines para piso porque está dentro de los parámetros de la NTP 334.051. por tanto, estos productos se podrán usar en lugares donde no se exponga a dañar la salud de las personas.

Por otro lado, Paladines (2016) el porcentaje de absorción de agua en los ladrillos elaborados es moderadamente alta (Tabla 33) debido a la presencia de poros en el ladrillo lo que hace que estos alojen mayor cantidad de agua haciendo que su absorción crezca. Tomando como referencia la norma NTE INEN 0297 los ladrillos elaborados se clasifican como un ladrillo macizo tipo C, donde el porcentaje máximo de humedad es de 25%, sobrepasando este límite. Además, la presencia de poros

(Tabla 34), es una característica que podría ser dañina en cuanto a la reducción de la resistencia de los mampuestos, con respecto a los productos finales los poros son relativamente pequeños (Figura 2) por lo que la resistencia a compresión no se vio afectada por la presencia de los mismos.

Soto (2017) manifiesta para obtener adoquines resistentes, de 3.5 kg y con las medidas de 20cm de largo y 5cm de diámetro, se debe mezclar 800g de relave minero, 2000g de arena gruesa, 1000g de cemento porthand, 700ml de agua y 10 gramos de poliestireno expandido. Y dejar secar no menor de 28 días a temperatura ambiente y curada. Como indica la Norma Técnica Peruana 334.051. (340 y 376 Kg./cm<sup>2</sup>)(Tabla 35).

Según Zúñiga et al., (2015) los resultados indican una notable resistencia, obtuvo un incremento de 400 % en relación a los LPA, lo cual cumple con la normativa ecuatoriana, a través de la mezcla óptima entre las minas de Ceibopamba y Cangahua en porcentaje de 80/20 respectivamente. “De esta manera se reduce el impacto ambiental producto de la explotación intensiva en las minas de arcilla por el desconocimiento en las dosificaciones de las mezclas”.

## 4.2 Conclusiones

Se demostró que el uso de relaves mineros en la construcción de ladrillos sí será posible evaluada principalmente en función a su resistencia, cabe mencionar que se requiere de otros insumos para dar las características propias como insumo, para lo cual requiere de previo tratamiento o curado.

Las propiedades y características del relave minero de acuerdo a los estudios descritos resaltan la concentración de los metales pesados como Ag, Al, As, Cd, Ba, Be, Ca y Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, La, Mg, Mo, Mn y Pb; contenido de sílice, muscovita, pH fuertemente ácido; granulometría media; baja plasticidad; los óxidos gobiernan la composición química del relave; y la temperatura debe ser un parámetro a controlar permanentemente.

Dentro de los diseños de mezclas para la elaboración de ladrillos los autores han considerado como insumos materiales como arena, ceniza, cemento, relaves minero, de manera proporcional; dentro de estos diseños se tiene: 26% de contenido de solución, concentración alcalina de 15M y temperatura de 120 °C; sustitución con 4 - 8%, 10%, 15% de relave minero por cemento; proporciones de 80/20, 60/40 y 70/30; probetas en forma de un cilindro recto de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto; para la elaboración de un ladrillo se requiere de 656.2 kg de relave minero; las proporciones de relaves mineros representa un 10% de la mezcla.

Las propiedades y características de los ladrillos elaborados con relaves mineros a partir de los resultados de los estudios seleccionados son: estos muestran un color gris claro luego de desarrollarse el proceso de curado, con una densidad alrededor de 1.80 a 2.0 g/cm<sup>3</sup> y un peso de 2.8 kg; resistencia promedio de 12 MPa luego de 72 hrs de curado; otra muestra alcanzó una resistencia a la compresión de 39.37 MPa; en el caso del concreto hidráulico obtuvo una resistencia de 222.11 kg/cm<sup>2</sup>; la adición de aditivos a la mezcla disminuye considerablemente la consistencia del adoquín (27.2 %); la compresión diametral fue de 4.72 MPa; a los 28 días se

determinó la resistencia de 132, 155 y 169 Kg/cm<sup>2</sup> con reemplazo del cemento por relave de 5, 10 y 15% respectivamente.

Los poros son relativamente pequeños por lo que la resistencia a compresión no se vio afectada por la presencia de los mismos; la presencia de poros en el ladrillo hace que aloje mayor cantidad de agua haciendo que su absorción crezca

#### Recomendaciones

Se recomienda realizar un análisis experimental haciendo uso de relaves mineros, a su vez de un análisis económico comparativo entre ladrillo producidos de manera artesanal sin relave mineros y los ladrillo producidos con relaves mineros.

Se recomienda investigar otras propiedades aparte de las mencionadas en este proyecto, como por ejemplo: resistencia al fuego o aislamiento acústico.

Se recomienda buscar nuevas alternativas de materia prima distinto a relaves mineros y comprobar bajo laboratorio su idoneidad para la elaboración de ladrillos.

## REFERENCIAS

- Abril, V. (2008). *Técnicas e Instrumentos de la Investigación*. Ecuador. Repositorio Institucional de las Fuerzas Armadas ESPE
- Arias, F.G. (2012). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica*. Caracas, Venezuela. Episteme.
- Cárdenas, T. (2019). *Propuesta de uso de relave de mina polimetálica en la fabricación de unidades de albañilería – caso ex unidad minera Mercedes 3*. (Tesis de grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Espín, D., Jarrín, J., & Escoba, O. (2017). Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros generados en el Proyecto Río Blanco. *Ciencias de Seguridad y Defensa*, 2(4), 1- 12. Disponible en: <http://geol.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2018/01/Art1.pdf>
- Flores, S., Zegarra, E., Del Carpio, J., & Flores, N. (2017). Desarrollo y validación de una tecnología limpia para el tratamiento integral de neutralización de efluentes y relaves metalúrgicos basados en el empleo de Agentes Calcáreos. *Green Metallurgy Technologies S.R.L*, 1 - 7. Disponible en: [https://www.ccp-br.fee.unicamp.br/JP3I\\_website/anteriores/02jp3i/papers/Paper013.pdf](https://www.ccp-br.fee.unicamp.br/JP3I_website/anteriores/02jp3i/papers/Paper013.pdf)
- García, N. (2015). *Uso de residuos mineros de una mina de fe en la industria de la construcción*. (Tesis de grado). Universidad Autónoma de México.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill Interamericana
- Karhu, M., Lagerbom, J., Solismaa, S., Honkanen, M., Ismailov, A., Räsänen, M.-L., Levänen, E. (2019). Mining tailings as raw materials for reaction-sintered

aluminosilicate ceramics: Effect of mineralogical composition on microstructure and properties. *Ceramics International*, 4840-4848.

Kim, Y., Lee, Y., Kim, M., & Park, H. (2018). Preparation of high porosity bricks by utilizing red mud and mine tailing. *Journal of Cleaner Production*, 207, 490-497. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618330580>

Li, R., Huang, Z., Zhou, Y., & Li, C. (2019). *Recycling of industrial waste iron tailings in porous bricks with low thermal conductivity. Construction and Building Materials*, 213, 43 - 50. Recuperado el 18 de Abril de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819308840>

Namuche, F.G. (2018). *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, 2017.* (Tesis de grado). Universidad San Pedro, Chimbote – Perú.

Melgarejo, Y.J. (2018). *Resistencia del concreto  $F'C=210$  kg/cm<sup>2</sup> con sustitución del cemento en 4% y 8% por relave de la mina Potosí.* (Tesis de grado). Universidad San Pedro, Huarza – Perú.

Paladinez, J.P. (2017). *Fabricación de ladrillos a base de lodos de relaves de minas.* (Tesis de grado). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.

Pereira, S. F. (2018). *Estudio de factibilidad técnica de aprovechamiento de relave abandonado de oro "coordenadas UTM N-6252732 Y E- 319762.* (Tesis de grado). Universidad Andres Bello, Chile.

- Quichca, J. V. (2016). *Diseño de mezcla de concreto  $F'c=175$  Kg/cm<sup>2</sup> adicionando relave minero para tránsito ligero relavera Pacococha-P Virreyña– Castrovirreyña-Huancavelica*. (Tesis de grado). Universidad Peruana de los Andes, Huancayo, Perú.
- Romero, A. A., Flores, S. L. & Arévalo, W. (2010). Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita. *Industrial Data*, 85 - 90. Recuperado el 16 de Abril de 2019, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81619989013>
- Romero, A., y Flores, S. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Diseño y tecnología*, 13 (1), 75 - 82. Disponible en <https://www.redalyc.org/html/816/81619984010/>
- Soto, E. A. (2017). *Reaprovechamiento de residuos industriales de la Minería - Metalúrgica y poliestireno expandido, en la elaboración de adoquines para Piso Rímac - 2017*. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Soto, J. G. (2017). *Elaboración de adoquines cerámicos con el uso de Puzolanas, Aserrín y Relave Minero de Ticapampa, Recuay - Ancash*. Universidad César Vellejo, Lima, Perú.
- Tejada, M.A. y Loayza, E.G. (2017). *Proyecto de inversión para la producción y comercialización de adoquines ecoamigables hechos a partir de residuos mineros en la provincia de Arequipa al 2017*. (Tesis de Grado). Universidad Católica San Pablo, Arequipa - Perú.
- Weishi, L., Guoyuan, L., Ya, X., & Qifei, H. (2018). The properties and formation mechanisms of eco-friendly brick building materials fabricated from low-silicon

iron ore tailings. *Journal of Cleaner Production*, 204, 685 - 692. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618326702>

Zhu, M., Wang, H., Liu, L., Ji, R., & Wang, X. (2017). Preparation and characterization of permeable bricks from gangue and tailings. *Construction and Building Materials*, 148, 484-491. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061817309868>

Zúñiga, A. Hernández, F., Fernández, F. Zúñiga, B. y Sánchez, L. (2015). Desarrollo de ladrillos mejorados (LM) y uso de nuevas tecnologías en la fabricación de ladrillos ecológicos (LE). *Libro de Actas del 3er Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Ecoeficientes*, 1206 – 1219. Disponible en <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59467/Zu%C3%B1iga%20suarez%20C%20alonso%20%28espa%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

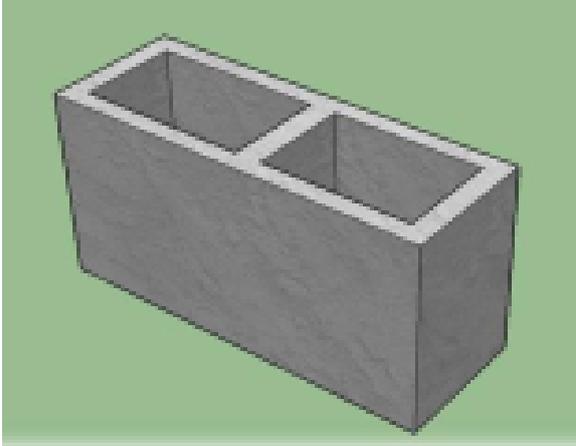
## ANEXOS

### Anexo 1. Resultados de las fuentes de información en la revisión sistemática de la literatura

N°	Título	Autor (S)	Tipo de Publicación	Año	Idioma	Base De Información
1	Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros generados en el Proyecto Río Blanco	Espín Damían, Jarrín Jaime y Escoba Olga	Artículo científico	2017	Español	Redalyc
2	Desarrollo y validación de una tecnología limpia para el tratamiento integral de neutralización de efluentes y relaves metalúrgicos basados en el empleo de Agentes Calcáreos	Flores, S., Zegarra, E., Del Carpio, J., & Flores, N.	Artículo científico	2017	Español	Redalyc
3	Mining tailings as raw materials for reaction-sintered aluminosilicate ceramics: Effect of mineralogical composition on microstructure and properties	Karhu, M., Lagerbom, J., Solismaa, S., Honkanen, M., Ismailov, A., Räisänen, M.-L., Levänen, E	Artículo científico	2019	Inglés	
4	Preparation of high porosity bricks by utilizing red mud and mine tailing	Kim, Y., Lee, Y., Kim, M., & Park, H.	Artículo científico	2018	Inglés	Sciencedirect
5	Recycling of industrial waste iron tailings in porous bricks with low thermal conductivity.	Li, R., Huang, Z., Zhou, Y., & Li, C.	Artículo científico	2019	Inglés	Sciencedirect
6	Estudio de factibilidad técnica de aprovechamiento de relave abandonado de oro "coordinadas UTM N-6252732 Y E- 319762	Pereira Olivares, Shadyc Frade	Tesis		Español	Scielo
7	Diseño de mezcla de concreto F'c=175 Kg/cm <sup>2</sup> adicionando relave minero para tránsito ligero relavera Pacococha-P Virreyna-Castrovirreyna-Huancavelica	Quichca Palomino, Jaime Vladimir	Tesis	2016	Español	Scielo
8	Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita	Romero, A. A., Flores, S. L., & Arévalo, W.	Artículo científico	2010	Español	Dialnet
9	Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas	Romero, A., & Flores, S.	Artículo científico	2010	Español	Sciencedirect
10	Reaprovechamiento de residuos industriales de la Minería - Metalúrgica y poliestireno expandido, en la elaboración de adoquines para Piso Rímac - 2017	Soto Castillo, Elmer Amadeo	Tesis	2017	Inglés	Sciencedirect

11	Elaboración De Adoquines Cerámicos Con El Uso De Puzolanas, Aserrín Y Relave Minero De Ticapampa, Recuay - Ancash	Soto Trinidad, Jorge Gilberto	Informe	2017	Español	Google académico
12	The properties and formation mechanisms of eco-friendly brick building materials fabricated from low-silicon iron ore tailings.	Weishi, L., Guoyuan, L., Ya, X., & Qifei, H.	Artículo científico	2018	Inglés	Sciencedirect
13	Preparation and characterization of permeable bricks from gangue and tailings	Zhu, M., Wang, H., Liu, L., Ji, R., & Wang, X.	Artículo científico	2017	Inglés	Sciencedirect

## Anexo 2: Dimensiones del bloque de concreto



Fuente: Cárdenas (2019)

Anexo3: Estudios considerados en la muestra

<b>Autor</b>	<b>Título</b>	<b>Tipo de publicación</b>
Cárdenas, T.	Propuesta de uso de relave de mina polimetálica en la fabricación de unidades de albañilería – caso ex unidad minera Mercedes 3	Tesis
García (2015)	Uso de residuos mineros de una mina de fe en la industria de la construcción	Tesis
Namuche, F.G.	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, 2017	Tesis
Melgarejo, Y.J.	Resistencia del concreto F’C=210 kg/cm <sup>2</sup> con sustitución del cemento en 4% y 8% por relave de la mina Potosí	Tesis
Paladinez, J.P	Fabricación de ladrillos a base de lodos de relaves de minas.	Tesis
Romero, A., y Flores, S.	Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas	Artículo
Soto E. A	Reaprovechamiento de residuos industriales de la Minería - Metalúrgica y poliestireno expandido, en la elaboración de adoquines para Piso Rímac - 2017	Tesis
Soto J. G.	Elaboración de adoquines cerámicos con el uso de Puzolanas, Aserrín y Relave Minero de Ticapampa, Recuay - Ancash	Tesis
Tejada M.A. y Loayza E.G.	Elaboración de adoquines cerámicos con el uso de Puzolanas, Aserrín y Relave Minero de Ticapampa, Recuay - Ancash.	Tesis
Zúñiga, A. Hernández, F., Fernández, F. Zúñiga, B. y Sánchez, L	Desarrollo de ladrillos mejorados (LM) y uso de nuevas tecnologías en la fabricación de ladrillos ecológicos (LE)	Artículo

De este anexo se deduce que de 10 fuentes, 8 son tesis y 2 artículos científicos; por tanto, la cantidad de tesis implica el 80% y el 20% de artículos científicos.