



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS**

**“Análisis de la resistencia a la compresión simple en morteros  
utilizando relave minero de la planta de beneficio  
GOLDSERVIPLANT CIA LTDA, Portovelo - El Oro”.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

**INGENIERA EN MINAS**

**Autoras:**

GABRIELA ANAIS LOJANO GARCÍA

JESSICA CRISTINA ROBLES ALVARADO

**Director:**

ING. EDUARDO ANDRÉS LUNA MÉNDEZ

**CUENCA – ECUADOR**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente investigación a todos los que me han acompañado en este proceso, porque han fomentado en mí, el deseo de superación y triunfo en la vida. A mi familia por el apoyo y la educación que me han brindado y a mi amuleto de la buena suerte, mi chispa, por su leal compañía.

**Gabriela Anais Lojano García.**

Con mucha alegría y orgullo dedico este proyecto a mi querida madre y padre que sin duda alguna me dieron la mejor “herencia” mis estudios, a mi hermano por ser un ejemplo de perseverancia, a mi compañero de vida por creer en mí y a todos los que me han acompañado en este largo sendero.

**Jessica Cristina Robles Alvarado.**

## **AGRADECIMIENTO**

Expresamos un grato agradecimiento a nuestros familiares, maestros y amigos, ya que sin el apoyo ni los consejos recibidos a lo largo de esta trayectoria el día de hoy no hubiese sido posible culminar esta etapa en nuestras vidas.

Así mismo agradecer a todos nuestros maestros por las enseñanzas, risas, consejos, regaños y cariño que hemos recibido, especialmente a los Ingenieros Leonardo Núñez y Eduardo Luna, por su grata orientación para la ejecución de esta investigación.

A nuestros amigos que llegaron a brindarnos alegría, con los que hemos estudiado, sufrido y llorado, pero a la larga siempre hemos disfrutado, los llevaremos en lo más profundo de nuestro corazón.

A nuestra Universidad del Azuay con mucha gratitud por brindarnos las instalaciones para formarnos como profesionales.

Finalmente agradecemos al personal de la planta de beneficio GOLDSERVIPLANT CIA. LTDA., Portovelo – El Oro, por brindarnos el material de relave minero que fue primordial para realizar esta investigación y en especial al Ing. Edgar Vázquez, Jefe de Planta, por su gran voluntad de enseñanza y por la confianza hacia nuestra persona.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iii
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	3
<b>CONCEPTOS GENERALES</b> .....	3
1.1. Geología regional .....	3
1.2. Geología local.....	5
1.3. Método de beneficio mineral.....	5
1.3.1. Conminución.....	6
1.3.2. Clasificación .....	6
1.3.3. Concentración .....	6
1.4. Absorción atómica.....	8
1.5. Flotación mineral.....	8
1.6. Relave minero.....	9
1.6.1. Origen del relave minero .....	9
1.6.2. Relave minero como residuo tóxico .....	9
1.6.3. Depósitos de relaves mineros .....	10
1.6.4. Características químicas del relave minero .....	10
1.6.5. Propiedades físicas del relave minero.....	11
1.6.6. Impactos generados por relaves mineros.....	13
1.6.7. Usos alternativos de relave minero.....	14
1.6.8. Métodos para tratar relaves mineros.....	14
1.6.9. Relave minero proveniente Goldserviplant .....	15
1.7. Análisis de minerales.....	16
1.7.1. Cobre mineral .....	16
1.7.2. Plomo.....	18

1.7.3. Cadmio.....	18
1.7.4. Arsénico .....	19
1.8. Granulometría.....	20
1.9. Modelo Rosin-Rammer .....	20
1.10. Flotación del cobre .....	20
1.11. Origen de los bloques de concreto .....	21
1.11.1. Bloque de concreto .....	21
1.11.2. Formación de los bloques de concreto.....	22
1.11.3. Uso de los bloques de concreto.....	22
1.11.4. Propiedades del bloque de concreto.....	22
1.11.5. Tipos de bloques de concreto.....	23
1.12. Morteros de cemento hidráulico.....	24
1.12.1. Diferencia entre un bloque estructural y arquitectónico .....	25
1.12.2. Normas para una buena fabricación de morteros.....	25
1.12.3. Material necesario para realizar morteros según la norma ASTM C109. ....	25
1.12.4. Cantidad de material para formar morteros .....	26
1.13. Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	26
1.14. Absorción de agua por capilaridad.....	27
1.15. Relave minero proveniente de la planta de beneficio Goldserviplant.....	27
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>30</b>
<b>METODOLOGÍA Y ENSAYO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>30</b>
2.1. Caracterización de materiales.....	30
2.1.1. Cemento Holcim .....	30
2.1.2. Agregado fino .....	31
2.2. Contenido de humedad en las muestras procedentes del relave minero .....	34
2.3. Análisis granulométrico .....	37
2.3.1. Ensayo para determinar d80 del relave minero .....	39
2.3.1.1. Tablas granulométricas del relave minero .....	40
2.3.2. Ensayo para determinar d80 de la arena sílice.....	46
2.3.2.1. Tablas granulométricas de la arena sílice .....	46
2.4. Dosificación para formar los morteros.....	52

2.5. Elaboración de morteros.....	54
2.6. Ensayo de resistencia a la compresión simple en probetas. ....	60
2.7. Ensayo de absorción en morteros.....	64
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>68</b>
<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>68</b>
3.1. Análisis de Resultados.....	68
3.1.1. Resistencia a la compresión simple .....	69
3.1.2. Ensayo de absorción de agua de los morteros .....	73
3.1.3. Coeficiente de absorción de agua por capilaridad .....	90
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>95</b>
Conclusiones: .....	95
Recomendaciones.....	97
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>104</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Mapa de geología local de la zona Zaruma-Portovelo. ....	4
<b>Figura 1.2.</b> Unidades hidrogeológicas en Zaruma y Portovelo. ....	4
<b>Figura 1.3.</b> Planta de beneficio Goldserviplant. ....	5
<b>Figura 1.4.</b> Diagrama de flujo para beneficio de minerales. ....	7
<b>Figura 1.5.</b> Espectrómetro de absorción atómica. ....	8
<b>Figura 1.6.</b> Desastre minero del 2015 en Bento Rodríguez, Brasil. ....	13
<b>Figura 1.7.</b> Mineral de cobre. ....	17
<b>Figura 1.8.</b> Mina de cobre Mutanda. ....	18
<b>Figura 1.9.</b> Diagrama general del área de flotación. ....	21
<b>Figura 1.10.</b> Materia prima para la fabricar bloques. ....	26
<b>Figura 1.11.</b> Zona de stock y carga. ....	27
<b>Figura 1.12.</b> Material en las bandas transportadoras. ....	28
<b>Figura 1.13.</b> Acoplamiento del relave minero luego de extraer de las piscinas de sedimentación. ....	29
<b>Figura 2.1.</b> Cemento Holcim tipo GU. ....	30
<b>Figura 2.2.</b> Recolección de relave minero. ....	32
<b>Figura 2.3.</b> Cuarteo de relave minero. ....	32
<b>Figura 2.4.</b> 500 g de muestra representativa. ....	33
<b>Figura 2.5.</b> Pasante acumulado en diferentes mallas. ....	39
<b>Figura 2.6.</b> Distribución de Rosin Rammler del relave minero muestra 1. ....	41
<b>Figura 2.7.</b> Distribución de Rosin Rammler del relave minero muestra 2. ....	43
<b>Figura 2.8.</b> Distribución de Rosin Rammler del relave minero muestra 3. ....	45
<b>Figura 2.9.</b> Distribución de Rosin Rammler de la arena sílice muestra 1. ....	47
<b>Figura 2.10.</b> Distribución de Rosin Rammler de la arena sílice muestra 2. ....	49
<b>Figura 2.11.</b> Distribución de Rosin Rammler de la arena sílice muestra 3. ....	51
<b>Figura 2.12.</b> Relave minero en estado acuoso. ....	55
<b>Figura 2.13.</b> Peso del material en las proporciones adecuadas. ....	55
<b>Figura 2.14.</b> Empaquetamiento de material compuestas de diferentes mezclas. ....	56
<b>Figura 2.15.</b> Aplicación de antiadherente en los moldes. ....	56

<b>Figura 2.16.</b> Mezcla de materiales sólidos.....	57
<b>Figura 2.17.</b> Aplicación de antiadherente en los moldes. ....	57
<b>Figura 2.18.</b> Primera capa de mortero de aproximadamente 25 mm <sup>2</sup> .....	58
<b>Figura 2.19.</b> Enrazado .....	58
<b>Figura 2.20.</b> Muestras cubiertas con un paño húmedo.....	59
<b>Figura 2.21.</b> Muestras sumergidas en agua hasta los 7, 14 y 28 días.....	59
<b>Figura 2.22.</b> Probeta colocada en placa de medición de 50 mm <sup>3</sup> .....	61
<b>Figura 2.23.</b> Peso del mortero antes de la rotura.....	61
<b>Figura 2.24.</b> Ejes de dimensión.....	62
<b>Figura 2.25.</b> Probeta colocada en el centro de la prensa hidráulica. ....	62
<b>Figura 2.26.</b> Probeta luego de soportar la carga máxima ejercida. ....	63
<b>Figura 2.27.</b> Datos directos marcados por la prensa hidráulica. ....	63
<b>Figura 2.28.</b> Peso del mortero luego de salir del horno. ....	65
<b>Figura 2.29.</b> Aplicación de impermeabilizante en el mortero.....	65
<b>Figura 2.30.</b> Peso del mortero luego de aplicar la capa impermeabilizante.....	66
<b>Figura 2.31.</b> Probeta sumergida 30mm .....	66
<b>Figura 2.32.</b> Peso de la probeta luego de estar sumergida. ....	67
<b>Figura 3.1.</b> Resistencia de las probetas en diferentes días. ....	72
<b>Figura 3.2.</b> Comportamiento de las mejores probetas de la resistencia a la compresión simple .....	73
<b>Figura 3.3.</b> Absorción de agua en morteros después de estar 72h sumergidos en agua. ....	89



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Granulometría de relaves .....	12
<b>Tabla 1.2.</b> Composición de análisis al granel.....	16
<b>Tabla 1.3.</b> Cantidades para formación de morteros.....	26
<b>Tabla 1.4.</b> Reactivos usados en la planta de beneficio GOLDSERVIPLANT .....	29
<b>Tabla 2.1.</b> Especificaciones técnicas de Holcim fuerte tipo UG.....	31
<b>Tabla 2.2.</b> Referencia para definir parámetros de los metales de interés.....	33
<b>Tabla 2.3.</b> Resultados mineralógicos .....	34
<b>Tabla 2.4.</b> Datos de la muestra 1 para humedad.....	35
<b>Tabla 2.5.</b> Datos de la muestra 2 para humedad.....	36
<b>Tabla 2.6.</b> Datos de la muestra 3 para humedad.....	36
<b>Tabla 2.7.</b> Abertura de tamiz para determinar el límite granulométrico. ....	37
<b>Tabla 2.8.</b> Tabla granulométrica del relave minero muestra 1.....	40
<b>Tabla 2.9.</b> Modelo de distribución Rosin Rammler del relave minero muestra 1.....	40
<b>Tabla 2.10.</b> Resumen de resultados del análisis granulométrico del relave minero muestra 1.....	41
<b>Tabla 2.11.</b> Tabla granulométrica del relave minero muestra 2.....	42
<b>Tabla 2.12.</b> Modelo de distribución Rosin Rammler del relave minero muestra 2. ....	42
<b>Tabla 2.13.</b> Resumen de resultados del análisis granulométrico del relave minero muestra 2.....	43
<b>Tabla 2.14.</b> Tabla granulométrica del relave minero muestra 3.....	44
<b>Tabla 2.15.</b> Modelo de distribución Rosin Rammler del relave minero muestra 3. ....	44
<b>Tabla 2.16.</b> Resumen de resultados del análisis granulométrico del relave minero muestra 3.....	45
<b>Tabla 2.17.</b> Resultados del análisis granulométrico d80 del relave minero. ....	45
<b>Tabla 2.18.</b> Tabla granulométrica de la arena sílice muestra 1.....	46
<b>Tabla 2.19.</b> Modelo de distribución Rosin Rammler de la arena sílice muestra 1.....	47
<b>Tabla 2.20.</b> Resumen de resultados del análisis granulométrico de la arena sílice muestra 1.....	48
<b>Tabla 2.21.</b> Tabla granulométrica de la arena sílice muestra 2.....	48
<b>Tabla 2.22.</b> Modelo de distribución Rosin Rammler de la arena sílice muestra 2.....	49

<b>Tabla 2.23.</b> Resumen de los resultados del análisis granulométrico de la arena sílice muestra 2. ....	50
<b>Tabla 2.24.</b> Tabla granulométrica de la arena sílice muestra 3. ....	50
<b>Tabla 2.25.</b> Modelo de distribución Rosin Rammler de la arena sílice muestra 3. ....	51
<b>Tabla 2.26.</b> Resumen de los resultados del análisis granulométrico de la arena sílice muestra 3. ....	52
<b>Tabla 2.27.</b> Resultados del análisis granulométrico d80 de la arena sílice. ....	52
<b>Tabla 2.28.</b> Dosificación para morteros con cemento hidráulico. ....	53
<b>Tabla 2.29.</b> Dosificación de los materiales para realizar morteros de cemento. ....	53
<b>Tabla 2.30.</b> Dosificación actualizada de los materiales para realizar morteros de cemento. ....	60
<b>Tabla 3.1.</b> Dosificación de los materiales para realizar las muestras. ....	68
<b>Tabla 3.2.</b> Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple a los 7 días. ....	69
<b>Tabla 3.3.</b> Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple a los 14 días. ....	70
<b>Tabla 3.4.</b> Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple a los 28 días. ....	71
<b>Tabla 3.5.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 1 a los 7 días. ....	75
<b>Tabla 3.6.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 1 a los 28 días. ....	76
<b>Tabla 3.7.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 2 a los 7 días. ....	77
<b>Tabla 3.8.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 2 a los 28 días. ....	78
<b>Tabla 3.9.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 3 a los 7 días. ....	79
<b>Tabla 3.10.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 3 a los 28 días. ....	80
<b>Tabla 3.11.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 4 a los 7 días. ....	81
<b>Tabla 3.12.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 4 a los 28 días. ....	82
<b>Tabla 3.13.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 5x a los 7 días. ....	83
<b>Tabla 3.14.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 5x a los 28 días. ....	84
<b>Tabla 3.15.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 5 a los 7 días. ....	85
<b>Tabla 3.16.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 5 a los 28 días. ....	86
<b>Tabla 3.17.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 6 a los 7 días. ....	87
<b>Tabla 3.18.</b> Resultados del ensayo de absorción en los morteros 6 a los 28 días. ....	88
<b>Tabla 3.19.</b> Resumen de los resultados del ensayo de absorción en los morteros a los 7 y 28 días. ....	89

**Tabla 3.20.** Resultados de coeficiente de absorción capilar, porosidad efectiva del mortero y la resistencia a la penetración del agua por la absorción, alas 72h a los 7 días. .... 92

**Tabla 3.21.** Resultados de coeficiente de absorción capilar, porosidad efectiva del mortero y la resistencia a la penetración del agua por la absorción, alas 72h a los 28 días. .... 93

**ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>Anexo 1.</b> Planta de beneficio GOLDSERVIPLANT.....	105
<b>Anexo 2.</b> Recolección del cobre después del proceso de flotación .....	106
<b>Anexo 3.</b> Ensayo de humedad.....	107
<b>Anexo 4.</b> Granulometría del material.....	108
<b>Anexo 5.</b> Producción de morteros.....	109
<b>Anexo 6.</b> Probetas antes de su rotura .....	110
<b>Anexo 7.</b> Rotura probetas muestra #1 .....	110
<b>Anexo 8.</b> Rotura probetas muestra #2.....	111
<b>Anexo 9.</b> Rotura probetas de muestra #3 .....	111
<b>Anexo 10.</b> Rotura probeta de muestra #4.....	112
<b>Anexo 11.</b> Rotura probeta de muestra #5.....	112
<b>Anexo 12.</b> Probetas curadas .....	113
<b>Anexo 13.</b> Ensayo de absorción.....	113
<b>Anexo 14.</b> Morteros en absorción .....	114
<b>Anexo 15.</b> Pesos para absorción de morteros de la mezcla # 1 .....	114
<b>Anexo 16.</b> Pesos para absorción de morteros de la mezcla # 2 .....	115
<b>Anexo 17.</b> Pesos para absorción de morteros de la mezcla # 3 .....	115
<b>Anexo 18.</b> Pesos para absorción de morteros de la mezcla # 4 .....	116
<b>Anexo 19.</b> Pesos para absorción de morteros de la mezcla # 5 .....	117
<b>Anexo 20.</b> Pesos para absorción de morteros de la mezcla # 6 .....	118

**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE EN  
MORTEROS UTILIZANDO RELAVE MINERO DE LA PLANTA DE  
BENEFICIO GOLDSERVIPLANT CIA. LTDA., PORTOVELO - EL ORO**

**RESUMEN**

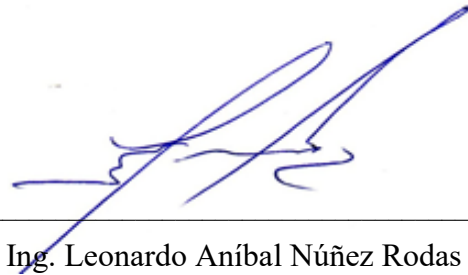
Los procesos metalúrgicos crean grandes cantidades de relaves mineros; los cuales algunas veces son depositados en fuentes hídricas, en zonas de cultivo, sin un tratamiento previo. Por esta razón, el objetivo de la presente investigación fue utilizar el relave minero como sustituto de agregado fino en la industria de la construcción, a través de la elaboración de morteros, en donde la arena que es considerada agregado fino fue reemplazada con el relave minero que presenta tamaños similares. Los morteros tuvieron porcentajes del 20%, 40%, 60%, 80% y 100 % de este agregado, obteniendo un total de 63 muestras, las cuales fueron sometidas al ensayo de resistencia a la compresión simple y absorción a los 7, 14 y 28 días; obteniendo una resistencia mínima de 7,745 MPa y una máxima de 18,929 MPa a los 28 días. Adicionalmente, los morteros creados con relave minero presentaron una mayor absorción al pasar los 14 días.

**Palabras clave:** Relave minero, mortero, resistencia a la compresión, absorción, agregado fino.



---

Ing. Eduardo Andrés Luna Méndez  
**Director del Trabajo de Titulación**



---

Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas  
**Coordinador de Escuela**



---

Gabriela Anais Lojano García  
**Autora**



---

Jessica Cristina Robles Alvarado  
**Autora**

**"ANALYSIS OF THE RESISTANCE TO SIMPLE COMPRESSION IN MORTARS USING MINING TAILINGS FROM THE GOLDSERVIPLANT BENEFIT PLANT CIA. LTDA., PORTOVELO - EL ORO."**

**ABSTRACT**

Metallurgical processes create large quantities of mining tailings, which are sometimes deposited into natural water sources or in growing areas without any treatment. Therefore, the objective of this research was to use these mining tailings as a substitute for fine aggregate in the construction industry through the elaboration of mortars where the sand which is considered as fine aggregate was replaced with the mining tailings because of their size similarities. The mortars had percentages of 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of this aggregate, obtaining a total of 63 specimens, which were subjected to the compressive strength and absorption test at 7, 14 and 28 days; obtaining a minimum resistance of 7,745 MPa and a maximum of 18,929 MPa at 28 days. Additionally, the mortars created with mining tailings presented higher absorption after 14 days.

**Key words:** mining tailings, mortar, compressive strength, absorption, fine aggregates.



Ing. Eduardo Andrés Luna Méndez

**Thesis Director**



Ing. Leonardo Anibal Núñez Rodas

**Mining Engineering Faculty Coordinator**



Gabriela Anais Lojano García

**Author**



Jessica Cristina Robles Alvarado

**Author**

Translated by



Gabriela Lojano and Jessica Robles

Gabriela Anais Lojano García

Jessica Cristina Robles Alvarado

Trabajo de Titulación

Ing. Eduardo Andrés Luna Méndez.

Noviembre, 2022

**“ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE EN  
MORTEROS UTILIZANDO RELAVE MINERO DE LA PLANTA DE  
BENEFICIO GOLDSERVIPLANT CIA. LTDA., PORTOVELO - EL ORO.”**

**INTRODUCCIÓN**

Los procesos metalúrgicos crean grandes cantidades de relave minero; el cual a veces es depositado en fuentes hídricas o en zonas de cultivo sin un tratamiento previo, ocasionando así grandes problemas ambientales, sociales y de salud (Páez, 2021). Según (Pincay, Encarnación, & Gonzalez, 2020) la actividad minera desarrollada en la provincia de El Oro ha ocasionado daños e impactos ambientales a la naturaleza y al ecosistema de los cantones en la parte alta de la provincia, reduciendo todo tipo de probabilidades de conservar el medioambiente sano. Es por ello, que se crea la necesidad de encontrar un sistema por el cual se reutilicen los relaves mineros existentes.

Se realizó esta investigación para comprobar si es factible el uso del relave minero como sustituto de agregado fino en la creación de morteros, es decir, saber si son aptos para la construcción de exteriores.

Para este proceso se recolectaron muestras de la planta de beneficio GOLDSERVIPLANT para poder realizar las muestras con diferentes porcentajes (20%, 40%, 60%, 80% y 100%) de relave minero como sustituto de agregado fino, se realizaron 7 tipos de mezclas, cada una con un lote de 9 muestras que dio un total de 63 muestras, de las cuales 35 se utilizaron para resistencia a la compresión simple y 28 para pruebas de absorción. Tras el desarrollo de los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados:

La probeta 1 (100% arena sílice) tuvo una resistencia mínima de 7,745 MPa, la probeta 5 (60% arena sílice - 40% relave minero) tuvo una resistencia media de 13,134 MPa y la probeta 14 (100% relave) demostró la mayor resistencia de este estudio debido a que soportó 18,929 MPa. Quedó demostrado que las probetas con más porcentaje de relave minero mostraron más resistencia en comparación a las probetas con composición de 100% arena sílice.

Las pruebas de absorción se realizaron a los 7 y 28 días de curado en base a la norma española (UNE 83982, 2008). Los resultados reflejaron que a los 28 días de curado el mortero 2.1 creado con 80% arena sílice - 20% relave minero, representó la mínima absorción con un coeficiente de absorción  $(K) = 0,0145 \text{ kg/cm}^2\text{min}^{0,5}$ , el mortero 1.2 con 100% arena sílice dio un coeficiente de absorción capilar medio  $(K) = 0,0176 \text{ kg/cm}^2\text{min}^{0,5}$  y el mortero 6.1 con 100% relave demostró tener la máxima absorción con un coeficiente de absorción capilar  $(K) = 0,0197 \text{ kg/cm}^2\text{min}^{0,5}$ .

Los morteros 1.1 y 1.2 realizados con 100% arena sílice a los 28 días dieron un coeficiente de absorción capilar promedio de  $0,0162 \text{ kg/cm}^2\text{min}^{0,5}$ , en comparación con los morteros 6.1 y 6.2 con 100% relave minero demostraron un coeficiente de absorción capilar promedio de  $0,0195 \text{ kg/cm}^2\text{min}^{0,5}$ . Se evidenció que los morteros creados con relave minero son más absorbentes que los creados con porcentajes más altos de arena sílice, por ende, son mejores para la construcción.

Concluyendo entonces que las muestras realizadas con porcentajes mayores de relave minero, son mejores tanto en absorción como en la resistencia a la compresión simple.



## CAPÍTULO 1

### CONCEPTOS GENERALES

#### 1.1. Geología regional

El cantón minero Portovelo, se encuentra en el suroeste del Ecuador en la parte alta de la provincia de El Oro, emplazado en la Cordillera Occidental de los Andes. El mismo es conocido por sus depósitos de Au-Ag-Cu, constituido por un sistema de vetas epi-mesotermiales.

El cantón minero Portovelo está constituido en la parte sur por rocas metamórficas del macizo Amotape-Tahuín y en la parte norte por rocas volcánicas del terreno Chaucha. Portovelo tiene como basamento pre-mesozoico el complejo metamórfico El Oro que está dentro del grupo Saraguro, este sistema está delimitado al norte como al sur por la falla de Piñas y la falla de Busa- Palestina (Gonzales & Pozo, 2015).

La mineralización se originó en las partes este y noroeste del área siguiendo el sistema de fallas Piñas - Portovelo con rumbo N-S, siendo una falla de cabalgamiento con una longitud aproximada de 40km y un azimut aproximado de 295°, debido a esto el grupo Saraguro está separado del complejo metamórfico de El Oro. El grupo Saraguro se desplazó al oeste de Zaruma lo que indica un salto vertical de aproximadamente 3km entre Piñas y Zaruma. Mientras que, al oeste de Piñas la falla aparece con buzamiento alto entre Piñas y Salatí al este de Portovelo (Gonzales & Pozo, 2015).

Las rocas predominantes de la zona están caracterizadas por su alto grado de meteorización, diaclasamiento intenso y la calidad de mala a muy mala (PRODEMINCA, 2000).

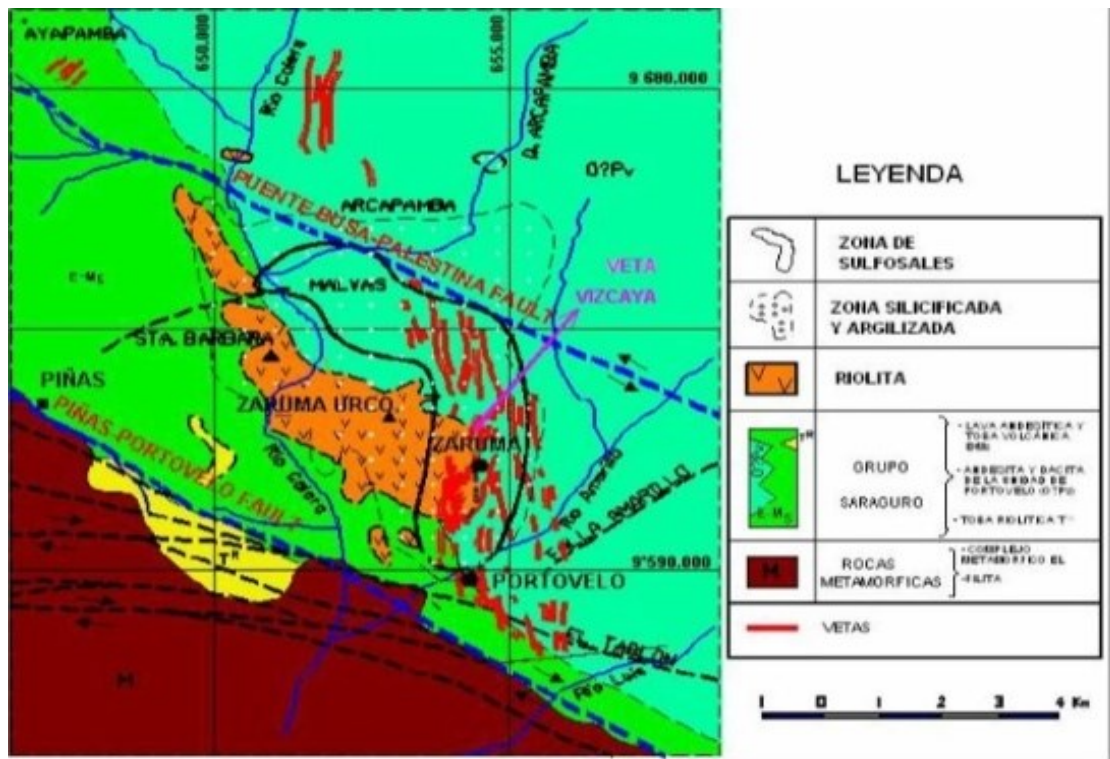


Figura 1.1. Mapa de geología local de la zona Zaruma-Portovelo.

Fuente: (Gonzales & Pozo, 2015)

El principal sistema hidrográfico de la zona está formado por los ríos Calero y Amarillo, ambos presentan flujos de agua constantes en todo el año, Portovelo se caracteriza por las altas precipitaciones con registros de hasta 1229 mm/año (Gonzales & Pozo, 2015).



Figura 1.2. Unidades hidrogeológicas en Zaruma y Portovelo.

Fuente: (Gonzales & Pozo, 2015).

## 1.2. Geología local

GOLDSERVIPLANT se encuentra ubicada en la provincia de El Oro, cantón Portovelo, parroquia el Tablón, con código catastral 30000403, la planta de beneficio procesa alrededor de 330 - 335 t/día, el material es procedente de las concesiones mineras ubicadas en el sector de Zaruma – Portovelo, la planta de beneficio se dedica 80% al tratamiento de Cu, 10% Au y 10% Ag, se estima que se obtiene unas 150 t/día de relave.



**Figura 1.3.** Planta de beneficio Goldserviplant.

**Fuente:** (Planta de beneficio Goldserviplant, 2020)

## 1.3. Método de beneficio mineral

Es un conjunto de procesos por el cual se separa la mena y ganga. La actividad del beneficio mineral trata desde la recepción del mineral proveniente de la mina hasta cuándo se obtiene el concentrado y las colas. El concentrado es el que tiene un valor económico y la cola es un desecho conocido como relave minero (Carles & Cano, 2006).

Para el proceso de obtención del concentrado se trata en diferentes operaciones secuenciales como:

- Lavado
- Trituración
- Molienda

- Homogenización
- Clasificación
- Concentración

### 1.3.1. Conminución

Es la reducción del tamaño de la ganga.

- **Liberación de los minerales:** Etapa previa a la concentración, debido a que una gran parte de los minerales valiosos están finamente diseminados y ligados a la ganga, es por ello que se debe reducir el tamaño de manera progresiva de la mena hasta liberar el mineral de la ganga (Castro & Pavón, 2011).
- **La molienda:** Última etapa de la conminución, en esta etapa se reduce el tamaño de las partículas por una combinación de mecanismos de impacto y abrasión, por lo general esto se realiza en molinos de bolas o de barras de acero (Castro & Pavón, 2011).

### 1.3.2. Clasificación

Es el cernido de los materiales, se lleva a cabo con los materiales gruesos o finos depende de donde proviene el mineral o el uso, para ello se requiere diferentes equipos, se detalla los principales:

- **Cribas:** Elimina el material fino antes de utilizar una chancadora.
- **Cribas vibratoras:** Elimina el material grueso en general se utiliza para minería aluvial.

### 1.3.3. Concentración

Es la ley del mineral de interés en cantidades elevadas y anormales del resto, depende de las propiedades físico químicas del mineral y se pueden utilizar diferentes métodos de enriquecimiento como:

- **Método gravimétrico:** Se utiliza para la separación de minerales de diferentes densidades, donde actúan las fuerzas de gravedad y centrífuga, debido a esto es importante tener en cuenta el peso específico del mineral (Castro & Pavón, 2011). Existe dos tipos de método gravimétrico que son:
  - **Concentración en medio denso:** Se produce una separación cuando la densidad es intermedia entre el mineral de interés y el material a separar.
  - **Concentración en corrientes:** Se produce una separación cuando la densidad del mineral de interés es inferior a la densidad del material a separar
  - **Concentración electrostática:** Se aplica para tratar minerales no sulfurados y con pequeñas cantidades de minerales, es la combinación de la concentración gravimétrica y magnética.
- **Separación magnética:** Se utiliza para separar los concentrados minerales ferromagnéticos y para tratamiento de minerales no ferrosos.



**Figura 1.4.** Diagrama de flujo para beneficio de minerales.

**Fuente:** (Carles & Cano, 2006).

#### 1.4. Absorción atómica

La espectroscopía de absorción atómica es un equipo de laboratorio para metales con una alta precisión, está basado en la atomización de una muestra en una matriz líquida y que utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador para crear una niebla. La niebla atómica es expuesta a una energía a una determinada longitud de onda emitida ya sea por una lámpara de cátodo hueco o una lámpara de descarga de electrones (Lozano, 2021).



**Figura 1.5.** Espectrómetro de absorción atómica

**Fuente:** (Jaén, 2021)

#### 1.5. Flotación mineral

La flotación es un método fisicoquímico, que permite la concentración de minerales en suspensiones acuosas, hidrofobizando selectivamente el mineral de interés. El proceso consiste en la separación de partículas sólidas hidrofóbicas (las que no forman enlaces con los grupos iónicos del agua) de partículas sólidas hidrofílicas (las que sí forman enlaces con los grupos iónicos del agua en la interfaz sólido-agua o también conocido como humectación o adsorción de agua) con la ayuda de inyección de burbujas de aire (Bustamante Rúa, Gaviria Cartagena, & Restrepo Baena, 2008). Nota: los grupos iónicos del agua son  $H^+$  y  $OH^-$ .

## **1.6. Relave minero**

El relave minero es un sólido finamente molido, ya que se trata del descarte de las operaciones mineras. La minería de sulfuros de cobre extrae grandes cantidades de material. Sólo una pequeña fracción corresponde al elemento de interés económico que se desea recuperar, el resto del material se denomina relave (Sernageomin, 2017).

### **1.6.1. Origen del relave minero**

El proceso para la obtención de minerales y desechos mineros comienza con el chancado del mineral hasta llegar a tamaños de partículas pequeñas. Luego es transportado al proceso de molienda para la reducción del material a tamaños menores a un milímetro, a través de un molino de bolas o de barras. Se agrega agua al mineral molido y el material permanece en forma de lodo o pulpa a través del resto del proceso de beneficio.

El siguiente paso comúnmente es la flotación, la cual opera sobre el principio de que las partículas individuales que contienen el mineral que se desea extraer son selectivamente adheridas a pequeñas burbujas de aire que se unen a estas partículas y las elevan a la superficie de un tanque que se encuentra en constante agitación, las espumas que contienen estas partículas valiosas son retiradas de la superficie, procesadas, y secadas para transformarse en el concentrado.

Específicamente en el proceso de concentración y flotación se producen los residuos llamados relaves, estas partículas de desecho quedan después de recuperar el mineral de interés y son depositados en piscinas de sedimentación (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 1995).

### **1.6.2. Relave minero como residuo tóxico**

El relave minero es roca molida y agua por lo que no es un residuo tóxico, la toxicidad aparece en estados posteriores y por el mal acoplamiento del mismo lo que desencadena que reaccionen con el agua del medio y los metales tóxicos como el arsénico, cianuro,

cobre, zinc, cromo, plomo cadmio, etcétera, estos metales se solubilizan y se transportan de manera disuelta por el agua (Sernageomin, 2017).

### 1.6.3. Depósitos de relaves mineros

Actualmente, según (Sernageomin, 2017) existen varios tipos de depósitos de relaves que varían según la cantidad de agua que acompaña al relave y según la forma de depositar el material, entre ellos se encuentran los siguientes tipos de depósitos:

- **Tranque de Relave:** Depósito donde el muro es construido por la fracción más gruesa del relave y la parte más fina se deposita en el centro del tanque.
- **Embalse de Relave:** Es aquel depósito donde el muro de contención está construido de tierra, rocas alledañas y relave, se encuentra impermeabilizado en el coronamiento y en su talud interno.
- **Relave Espesado:** Depósito donde la superficie es previamente sometida a un proceso de sedimentación, con un equipo denominado espesador con el objetivo de retirar parte importante del agua contenida. El depósito de relave espesado se construye de forma tal que impida que el relave fluya a otras áreas distintas a las del sitio autorizado, y cuenta con un sistema de piscinas de recuperación de agua remanente.
- **Relave Filtrado:** Se trata de un depósito en que el material contiene menos agua que el espesado, gracias al proceso de filtrado para asegurar así una humedad menor a 20% menos que el proceso anteriormente mencionado.
- **Relave en Pasta:** Corresponden a una mezcla de agua con sólido, que contiene abundantes partículas finas y bajo contenido de agua, de modo que la mezcla tenga una consistencia espesa.

### 1.6.4. Características químicas del relave minero

Las características químicas del relave minero pueden variar ampliamente de un yacimiento a otro, debido a que a lo largo de la vida de una mina se puede explotar varios depósitos y cada uno con diferentes propiedades geoquímicas, ocasionando muchas



variaciones en las características químicas de los relaves producidos (Sernageomin, 2017). Por lo que se considera como características generales las siguientes:

- **Efluentes líquidos de flotación**

Los residuos de reactivos utilizados en la flotación acompañan tanto a los relaves sólidos como a los líquidos descargados. Los reactivos de flotación pueden ser cal, ditiofosfatos, xantatos, cromatos, sulfitos, sulfato de cobre, sulfato de zinc, ácidos grasos, alcoholes, aceites, cianuro, cloruro, entre otros, dependiendo del requerimiento metalúrgico en la operación (Ministerio y Minas del Perú, 1995).

- **Efluentes cianurados**

Los efluentes cianurados son componentes muy pocos conocidos que disuelven al oro y la plata, el cianuro de sodio es usado como un lixiviante en la mayoría de las operaciones para beneficiar oro y plata, y algunas veces como un reactivo en los procesos de flotación (Ministerio y Minas del Perú, 1995).

- **Drenaje ácido de relaves mineros**

El drenaje ácido de relaves mineros da un gran cambio a las características químicas del relave, los procesos por los cuales el pH del agua en contacto con los relaves puede disminuir severamente, dando como resultado la disolución y transporte de metales tóxicos disueltos tales como arsénico, plomo, cadmio, y un conjunto de otros, además un drástico incremento del contenido de los sulfatos (Ministerio y Minas del Perú, 1995).

### **1.6.5. Propiedades físicas del relave minero**

El comportamiento de los relaves mineros se determina por sus propiedades y por la naturaleza del depósito. La diferente disposición de los relaves mineros da lugar a dos clases de materiales: arenas que fueron depositadas mediante mecanismos hidráulicos y limos depositados mediante procesos de sedimentación (Chamorro, 2019). Es por ello que se consideran las siguientes características físicas:

- **Granulometría:** Es el tamaño de las partículas sólidas que ayudan a determinar las posibilidades de aprovechamiento, calidad y recuperación. La

granulometría depende de qué tipo de procesos mineralógicos fueron empleados para concentrar o extraer los minerales (Manual de Residuos Industriales Mineros, 2015).

**Tabla 1.1.** Granulometría de relaves

<b>Granulometría de relaves</b>	<b>Pasante acumulado %</b>	<b>Calidad</b>
Gruesos	0-15%	Buenos
Medios	15%-50%	Generalmente buenos
Finos	50%-80%	Cuestionables
Limos	100%	Almacenados en presas

**Fuente:** (Manual de Residuos Industriales Mineros, 2015)

- **Plasticidad**

La plasticidad permite que el material al sufrir deformaciones vuelva a su forma sin resquebrajarse ni desmenuzarse. Es la capacidad que tienen ciertos materiales para cambiar de forma bajo una carga constante, sin que cambie su volumen. La plasticidad de los relaves procedentes de las plantas de tratamiento y de beneficio mineral viene dada en función del tipo de estéril y del porcentaje de finos que presenten (Manual de Residuos Industriales Mineros, 2015).

- **Permeabilidad**

El grado de permeabilidad de cada material, va a depender de la amplitud de los huecos o vacíos continuos que existan entre partículas. Por lo tanto, la variación de la permeabilidad está en función de la granulometría de los relaves, de su plasticidad, del modo de su disposición y de su profundidad en el depósito (Manual de Residuos Industriales Mineros, 2015).

- **Consolidación**

Al principio los relaves mineros están constituidos por materiales sin consolidar que son vertidos en suspensión, al realizar vertidos continua y

sucesivamente se genera una gradiente de presión debido al peso de estos, que hace que el agua escape hacia las superficies libres, con lo cual los lodos se consolidan, reduciendo así su porosidad (Manual de Residuos Industriales Mineros, 2015).

### 1.6.6. Impactos generados por relaves mineros

El riesgo del mal manejo de los relaves mineros proviene desde la mala gestión del confinamiento, recolección, transporte y tratamiento debido a que contienen grandes cantidades de materiales potencialmente peligrosos y generan impactos irreversibles (Cruzado & Bravo, 2010). Los diques de contención de relaves pueden colapsar, resultando en la liberación de millones de metros cúbicos de relaves al ambiente. Cuando esto sucede, los impactos a los ecosistemas y a la población cercana son por lo general catastróficos (Teijlingen, 2019). En enero del 2019, en el sureste de Brasil, el cantón Brumadinho se convirtió en un mar de relaves mineros, que provenía de una mina de hierro ubicada aguas arriba.



**Figura 1.6.** Desastre minero del 2015 en Bento Rodríguez, Brasil.

**Fuente:** (Teijlingen, 2019).

El colapso completo de un dique es lo más catastrófico para el ambiente y la sociedad. Según (Romero, Flores, & Medina, 2008) la erosión parcial del dique o la filtración de agua contaminada causan afectaciones significativas. Los relaves pueden generar ácido mediante un proceso que se denomina “Drenaje ácido de roca”. Este proceso ocurre

cuando tierras ricas en sulfuro entran en contacto con oxígeno y agua, llegando así a la oxidación.

Los yacimientos de cobre tienen un alto nivel de sulfuro, sobre todo los relaves de minas que tienen el riesgo de generar ácido. Su filtración puede causar la acidificación de los recursos hídricos. Un problema adicional del drenaje ácido de roca es que los metales pesados sólidos presentes en los relaves se disuelven más fácil en un agua ácida.

### **1.6.7. Usos alternativos de relave minero**

Las investigaciones realizadas por (Cruzado & Bravo, 2010) indican que el reusar el relave minero es una manera sustentable de sobrellevar el problema con los desechos de los procesos minerales, donde se sugiere los siguientes usos:

- La fabricación de baldosas
- Ladrillos
- Adoquines
- Bloques
- Sustituto de agregado fino

### **1.6.8. Métodos para tratar relaves mineros**

La importancia de optimizar y reutilizar los relaves mineros es vital para el desarrollo y expansión en la industria, pero para ello se necesita un tratamiento previo los cuales son:

- **Desecado**

El contenido de agua se reduce del lodo o pulpa, el proceso consiste en un acondicionamiento previo lo que implica sustancias químicas como la cal o los polielectrolitos orgánicos, es un método costoso (Rojas & Ventura, 2017).

- **Fijación química**

Es un proceso que desintoxica, inmoviliza e insolubiliza la peligrosidad de un residuo a través de una reacción química entre uno o más componentes del residuo y una matriz sólida, los sistemas más comunes utilizan cemento con cenizas volátiles, cal con cenizas volátiles y cemento con silicato de sodio. En

el pH alcalino del cemento los metales pesados se precipitan como hidróxidos insolubles y se quedan atrapados dentro la matriz sólida (Rojas & Ventura, 2017).

- **Encapsulamiento**

Es un proceso por el cual el relave minero es incorporado dentro de un material que lo aísla del medio ambiente (Rojas & Ventura, 2017).

- **Micro encapsulamiento**

Es un método por el cual se inmoviliza e insolubiliza a los metales pesados, este efecto se logra a través de una reacción química entre los componentes de los metales pesados en la matriz del relave, los sistemas más comunes de solidificación involucran a los aglomerantes o cemento (Romero & Flores, 2010). Según (Romero & Flores, 2010) “Mediante la metodología de fijación de los metales pesados en los relaves mineros, se ha logrado estabilizar a los metales peligrosos y contaminantes que se encuentran en los relaves, anulando el proceso natural de migración de estos metales hacia el medio ambiente”.

#### **1.6.9. Relave minero proveniente de la planta Goldserviplant**

El material procesado en la planta de beneficio es procedente de las concesiones mineras ubicadas en el sector de Zaruma – Portovelo es por ello que la empresa a lo largo de los años recibe por lo general materiales con composición semejante.

**Tabla 1.2.** Composición de análisis al granel.

<b>MINERAL</b>	<b>NOMENCLATURA</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	35,9	%
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	4,1	%
Pirita	Ca <sub>2</sub>	0,3	%
Calcopirita	FeS <sub>2</sub>	2,3	%
Yeso	CaSO <sub>4</sub>	5,5	%
Sillimanita	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	12260	%
Manganeso	Mn	834	mg
Arsénico	As	14	mg
Cadmio	Cd	5,93	mg
Cobre	Cu	1106	mg
Níquel	Ni	14,9	mg
Plomo	Pb	5500	mg
Zinc	Zn	16090	mg
Plata	Ag	39,3	mg
Mercurio	Hg	13,3	mg
Oro	Au	10,4	g/t

**Fuente:** (Planta de beneficio mineral Goldserviplant, 2021)

### **1.7. Análisis de minerales**

Después de analizar los elementos que se encuentran en la (tabla 1.2) se determinó que el arsénico, cadmio y plomo requieren de una neutralización de metales. Adicionalmente Goldserviplant se dedica a la extracción y comercialización principalmente de cobre, por lo que continuación describiremos cada uno de estos elementos

#### **1.7.1. Cobre mineral**

El cobre es un elemento metálico de interés, que proviene de las profundidades de la tierra hace millones de años, impulsado por los procesos geológicos y al llegar cerca de la superficie dio origen a diversos tipos de yacimientos. Puede aparecer como vetas con alto

contenido de cobre, e incluso como cobre nativo o natural, estos yacimientos son conocidos como vetiformes.



**Figura 1.7.** Mineral de cobre

**Fuente:** (Ehlert, 2016).

En la actualidad la mayor parte del cobre disponible aparece disperso en grandes áreas, mezclado con material mineralizado y con roca estéril. Estos son los yacimientos porfídicos, que sólo pudieron ser explotados cuando se desarrollaron las habilidades metalúrgicas necesarias para separar y recuperar el metal. El porcentaje de cobre presente en estos minerales es conocido por los especialistas como 'ley de cobre', y su valor es variable. En algunos yacimientos esa ley es del 1 al 1.8 % y con frecuencia resulta menor, así que la mayor parte del material explotado en las minas es desechada. La clave para entender el uso intensivo del cobre por parte de la humanidad está en sus propiedades básicas: es un metal manipulable en caliente y en frío, con gran resistencia a la corrosión, con una alta conductividad térmica y eléctrica, ideal para la transmisión de comunicaciones, no es magnético y es completamente reciclable (Gonzales & Ludeña, 2007).

La exploración y explotación de minerales se da en los distritos mineros de: Zaruma - Portovelo, Ponce Enríquez y Nambija. Existen 16 depósitos metálicos explorados que tienen reservas de aproximadamente 700 tm de oro, 1.600 tm de plata y 1.500.000 tm de cobre (Gonzales & Ludeña, 2007).



**Figura 1.8.** Mina de cobre Mutanda.

**Fuente:** (Mining , 2017)

### **1.7.2. Plomo**

El plomo se presenta de forma natural en la corteza terrestre. Su uso generalizado ha tenido gran impacto en la contaminación ambiental y en consecuencia un incremento considerable en su exposición a la población, que ha generado graves problemas de salud pública. Entre las principales fuentes de contaminación ambiental destacan la explotación minera, metalurgia y en algunos países el uso persistente de pinturas, gasolinas y aditivos (Cruz, Ramirez, Ayala, & Flores, 2015).

La galena ( $PbS$ ) es el principal mineral portador de Pb, es un mineral primario que se encuentra generalmente asociado a la pirita y rara vez en la esfalerita y arsenopirita (Tovar & Fernandez., 2012). Estos metales además pueden ser transportados en gran medida por el aire, asociados a partículas sólidas, pueden encontrarse como contaminantes de aguas naturales de procedencia diversa y alejada de los focos reales de contaminación (Salazar, 2016).

### **1.7.3. Cadmio**

El cadmio es un metal tóxico liberado al ambiente por fuentes naturales y antrópicas (Carrillo M, 2013). Dentro de las fuentes naturales se encuentran las actividades



volcánicas, los incendios forestales y el transporte por el viento de partículas del suelo (MEKTA, 2011).

El cadmio se encuentra naturalmente en las rocas y los suelos asociados a minerales como zinc, plomo y cobre. El cadmio es liberado durante la extracción y refinación de metales no ferrosos, la manufactura, aplicación de abonos de fosfatos, la quema de combustibles fósiles, y la disposición e incineración de basura (Gumpu, 2015).

(Barron, 2016, pág. 10) indica que el cadmio es considerado como uno de los elementos más tóxicos, junto con el mercurio y el plomo. Se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza asociado a distintos minerales. La problemática del cadmio radica, además de en su elevada toxicidad, en su larga vida media y en la capacidad para ser acumulado por los seres vivos (Martí, 2007). Se sabe que uno de los mayores desastres medioambientales por cadmio que afectó gravemente a los habitantes de la cuenca del río Jinzū, en la prefectura de Toyama (Japón) fue debido a que el riego de los campos de arroz desde 1910 hasta 1960 fue con aguas que contenían cadmio (Barron, 2016).

#### **1.7.4. Arsénico**

El arsénico es un elemento de origen natural ampliamente distribuido en la corteza terrestre, se encuentra en formas orgánicas e inorgánicas y en diferentes estados de valencia u oxidación (Simbaña & Condor, 2017, pág. 18). El arsénico elemental tiene un estado de valencia de 0 (Hughes, 2011).

La concentración de arsénico en el suelo varía ampliamente, generalmente entre un intervalo de 1 a 40 ppm con un nivel medio de 3-4 ppm. La manera más común de saber dónde está el arsénico es identificando a la arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ). Ésta se encuentra normalmente incluida o asociada con silicatos, pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y marcasita ( $\text{FeS}_2$ ), también se encuentra liberada y en ocasiones presenta sus bordes alterados a óxidos o arseniatos de hierro (Tovar & Fernandez., 2012, pág. 6).

Las actividades mineras pueden incrementar la velocidad de liberación de arsénico a partir de sulfuros minerales porque los exponen a procesos de meteorización durante las tareas de excavación (Chela & Condor, 2008, pág. 60).

### 1.8. Granulometría

Es una característica mecánica que se determina en base al tamaño de la partícula del conjunto mineral previamente procesados, para esto es necesario establecer una fracción granulométrica mediante la aplicación de tamices específicos.

### 1.9. Modelo Rosin Rammler

El modelo compara o relaciona los valores del porcentaje acumulado pasante con el tamaño de partícula o abertura de malla de la serie empleada (Arroyave, 2015).

$$F_x = 100 \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{x}{x_r} \right)^m \right] \right\} \quad (1)$$

**Donde:**

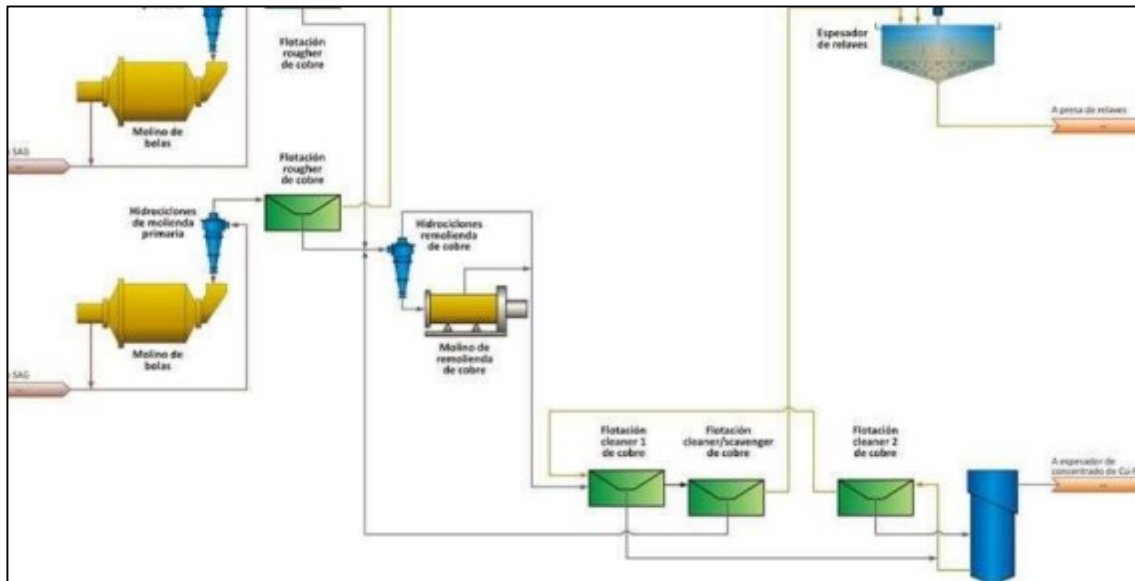
- **F(x)**= Pasante acumulado.
- **Xr**= Módulo de tamaño (Tamaño máximo de partícula).
- **m**= Módulo de distribución.
- **x**= Tamaño de partícula.

### 1.10. Flotación del cobre

El cobre se obtiene principalmente a partir de los sulfuros de cobre mediante procesos clásicos de flotación y pirometalúrgicos, siendo Chile el mayor productor de cobre en el mundo (Valdemarre, 2018, pág. 2).

El mineral molido es mezclado con agua, cal y reactivos mediante un sistema de bombeo por tubos que pasa de la clasificadora a las celdas de flotación que contienen un agitador de paletas que revuelve la pulpa, a la vez que una corriente de aire que sale de la parte inferior de la celda forma una especie de burbujas que salen a la superficie llevando consigo los sulfuros formando una espuma o nata que rebasa las celdas de flotación (Estudios Mineros del Peru, 2011, pág. 51).

Una desventaja de la flotación se debe a que es una técnica que requiere costos elevados en comparación con otros procesos empleados para la recuperación de cobre (Rao & Nayak, 1992).



**Figura 1.9.** Diagrama general del área de flotación

**Fuente:** Process plant and Associated Infrastructure Minera Constancia in Perú.

## 1.11. Origen de los bloques de concreto

Los romanos utilizaron el mortero en el año 200 a.C. para unir rocas. En el año 37-41 d.C. se usaron pequeños bloques de concreto como material de construcción en la región de Nápoles, Italia. El primer bloque de concreto fue diseñado por Harmon S. Palmer en los Estados Unidos y después de 10 años de experimentar con estos Palmer patentó el diseño en el año 1900. El tamaño estándar de los bloques es de (20cm) (40cm) (20cm) (Bloqueras, 2018).

### 1.11.1. Bloque de concreto

Es un material heterogéneo constituido por dos partes fundamentales: un grupo de rocas de diferentes tamaños y cemento, al secarse la mezcla se endurece (Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia, 2008, pág. 1).

### 1.11.2. Formación de los bloques de concreto

El proceso de fabricación consta de cuatro etapas como: mezcla, moldeo, curado y cubicado (Bloqueras, 2018)

- Realizar la mezcla correcta de los materiales (cemento, arena y agua) en caso de ser necesario se puede agregar más material hasta obtener una mezcla homogénea y compacta.
- Colocar la mezcla de concreto en el molde y apisonar con fuerza de manera constante para lograr que el bloque quede comprimido y que adopte la forma del molde. Se recomienda un molde de plástico o metal.
- Dar golpes de manera manual al molde para que la mezcla se adopte a la perfección al molde. Luego se debe dar vuelta el molde sobre una superficie plana y dejar que se seque hasta que se endurezca el cemento. Se recomienda dejar los bloques protegidos de la lluvia para que sequen a la perfección.
- Sacudir el bloque de cemento que ya se encuentra seco y con mucho cuidado dar golpes para sacarlo del molde.

### 1.11.3. Uso de los bloques de concreto

Un bloque de concreto se usa principalmente como material de construcción en la fabricación de muros ya sea para interiores, exteriores y paredes. Es un producto prefabricado de hormigón, los cuales pueden ser con o sin aditivos y puede tener dimensiones modulares. Los bloques de concreto son una alternativa de sustitución a los ladrillos de arcilla (Bloqueras, 2018).

### 1.11.4. Propiedades del bloque de concreto

Existen dos maneras diferentes de bloques según sus propiedades físicas y mecánicas.

- **Propiedades físicas**
  - **Variación dimensional:** Es el largo, ancho y alto.
  - **Absorción:** Es la capacidad de absorción de agua que tiene el bloque, se determina pesando la muestra seca y luego de 72h de estar sumergido en

agua se pesa. Según la norma (NTP 339.604, 2002) la absorción máxima de un bloque es del 12% y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Absorción}\% = \left( \frac{W_s - W_d}{W_d} \right) * 100 \quad (2)$$

**Donde:**

- **Ws**= peso húmedo (kg)
- **Wd**= peso seco (kg)
- **Densidad:** Permite determinar si el bloque es pesado o liviano. Según la norma (NTP 339.604, 2002) se puede hallar a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \left( \frac{W_d}{W_s - W_i} \right) * 100 \quad (3)$$

**Donde:**

- **Ws**= peso húmedo (kg)
- **Wd**= peso seco (kg)
- **Wi**= Peso sumergido en agua (kg)

- **Propiedades mecánicas**

- **Resistencia a la compresión simple:** Es el índice de calidad que se determina mediante la aplicación de una fuerza de compresión sobre el bloque en la misma dirección que será colocado en el muro. Según (NTP 339.602, 2002) la resistencia a la compresión promedio de un bloque es de 60 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 1.11.5. Tipos de bloques de concreto

- **Según su acabado:** De acuerdo a la norma (NTP 339.602, 2002) se definen los siguientes tipos:
  - **Bloque caravista:** Su textura es rugoso y liso ya que no necesita revestimiento.

- **Bloque revestir:** Tiene rugosidad para proporcionar una buena adherencia al revestimiento.
- **Según su forma:** De acuerdo con (Idrogo, 2015) los bloques se clasifican en:
  - **Unidades huecas:** En estas unidades el área alveolar excede al 30% del área bruta y los alveolos pueden llenarse con concreto líquido.
  - **Unidades perforadas:** Tienen más del 30% del área bruta ocupada por los alveolos, pero estos son tan reducidos que no pueden llenarse con concreto líquido.
  - **Unidades solidas:** Son ladrillos macizos tradicionales o con alveolos perpendiculares a la cara de asiento, que no alcanzan más del 30% del área de la sección.
- **Según su densidad:** De acuerdo con la norma (NTP 339.602, 2002) se definen los siguientes tipos:
  - **Bloque de concreto normal:** El bloque seco tiene una densidad de 2000 kg/m<sup>3</sup>.
  - **Bloque de concreto ligero:** El bloque seco tiene una densidad de 1300 kg/m<sup>3</sup>.
  - **Bloque de concreto semiligero:** El bloque seco tiene una densidad entre 1300 kg/m<sup>3</sup> a 2000 kg/m<sup>3</sup>.
- **Según su función:** De acuerdo con (Idrogo, 2015) los bloques se clasifican en:
  - **Estructural:** La función estructural está ligada a la capacidad del muro para soportar o no cargas, diferentes a las de su peso propio.
  - **Arquitectónica:** Las unidades de función estructural puede estar o no ligada a su función arquitectónica es decir a su forma física y sus acabados.

### 1.12. Morteros de cemento hidráulico

Mortero en su definición más general es toda mezcla en seco de los componentes como el: cemento, arena y agua. La mezcla debe ser homogénea para obtener resultados buenos, puede tener función estructural o arquitectónica (Salamanca, 2001, pág. 3).

### 1.12.1. Diferencia entre un bloque estructural y arquitectónico

La diferencia radica en la consistencia y resistencia entre ellos debido a que el bloque estructural está compuesto por áridos gruesos que aseguran la resistencia y durabilidad requerida, por otro lado, el bloque arquitectónico no cuenta con este tipo de material que aporta la resistencia necesaria para aguantar pesos estructurales.

### 1.12.2. Normas para una buena fabricación de morteros

- Prueba de compresión de morteros de cemento (ASTM C109).
- Determinación de la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido (Norma Española- UNE 83982).
- Métodos de muestreo y ensayos de unidades de albañilería (ASTM C136).
- Terminología relacionada con cemento hidráulico (ASTM 219).
- Contenido total de humedad por secado en agregados (ASTM C566).

### 1.12.3. Material necesario para realizar morteros según la norma ASTM C109.

La correcta mezcla de los materiales mencionados anteriormente produce un bloque gris claro con una textura de superficie fina y una alta resistencia a la compresión, en su mayoría la mezcla de concreto utilizada para los bloques tiene un mayor contenido de arena y un menor contenido de grava y agua que las mezclas de concreto usadas para la construcción en general. Y debido a esto se obtiene una mezcla muy seca y rígida que mantiene su forma cuando se retira del molde de bloque (Bloqueras, 2018).

- **Agregados:** Los agregados son muy importantes para el concreto debido a que este le proporciona la resistencia (Avanto, 2009).
  - Agregado fino: Es la arena de sílice que pasa el tamiz 4,75mm.
- **Agua:** El agua se utiliza para hidratar el cemento y mejorar el trabajo al realizar la mezcla por lo tanto debe ser limpia, sin aceites, sales y materias orgánicas. El agua potable es óptima para este trabajo (Rojas & Ventura, 2017).
- **Cemento:** Brindará la mayor resistencia al mortero de concreto.

- **Aditivos Químicos:** Es opcional, se pueden usar aditivos químicos para mejorar sus propiedades. Así mismo se considera que el aditivo puede ser mineral como puzolanas, cenizas y escorias finamente molidos las cuales pueden reducir el calor de hidratación, aumentar la resistencia final o mejorar el comportamiento del concreto frente al ataque de sulfatos (Rivva, 1992).



**Figura 1.10.** Materia prima para la fabricación de bloques.

**Fuente:** (Bloqueras, 2018)

#### 1.12.4. Cantidad de material para formar morteros

Es importante tener en cuenta la cantidad de material a utilizar, en la siguiente tabla se detalla las cantidades para fabricar 6 morteros según la norma (ASTM C109).

**Tabla 1.3.** Cantidades para formación de morteros

<b>Cantidad de material para realizar 6 morteros</b>	
Arena	1375 g
Agua	242 g
Cemento	500 g

**Fuente:** (ASTM C109).

#### 1.13. Ensayo de resistencia a la compresión simple

Consiste en romper una probeta, se realiza este ensayo con el fin de determinar la resistencia o esfuerzo último de un suelo cohesivo a la compresión no confinada, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación (Angela Nicole, 2022).



#### 1.14. Absorción de agua por capilaridad

Trata de un método de ensayo para determinar el coeficiente de absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido, y este a su vez depende de la red de poros existentes en el interior del mortero (UNE 83982, 2008).

Este método consiste en la inmersión del mortero en agua hasta su saturación y luego al secado y para registrar las variaciones en masa en un tiempo determinado.

#### 1.15. Relave minero proveniente de la planta de beneficio Goldserviplant

El relave minero que se utilizó en este estudio provino de la planta de beneficio Goldserviplant ubicado aproximadamente a una distancia de 2,16 km del centro de Portovelo, el relave minero fue el resultado de todo un proceso que se detalla a continuación:

- **Recepción y stock del material:** El material fue receptado en el área designada dentro de la planta de beneficio GOLDSERVIPLANT, para su stock y su posterior acarreo hasta la tolva primaria.



**Figura 1.11.** Zona de stock y carga

**Fuente:** (Planta de beneficio Goldserviplant, 2021)

- **Trituración:** Realizaron este proceso con el de fin disminuir el tamaño de material a un tamaño fino. Utilizaron trituradoras de mandíbulas instaladas en la sección de trituración y cribado.



**Figura 1.12.** Material en las bandas transportadoras

**Fuente:** (Planta de beneficio Goldserviplant, 2021)

- **Clasificación:** Para una clasificación de diferentes tamaños, utilizaron zarandas vibratorias que separan el material de un tamaño menor a  $\frac{3}{4}$  que se le denomina (underflow) que es transportando por la banda hacia los molinos de bolas para seguir con el proceso metalúrgico y el material de un tamaño mayor a  $\frac{3}{4}$  también llamado (overflow) es aquel que no pasó la zaranda vibratoria por lo tanto es devuelto a la trituradora secundaria para volver a el proceso de trituración.
- **Molienda:** Para este procedimiento utilizaron molinos de bolas, donde por la acción de las bolas de acero, cada una de diferente diámetro que golpean los fragmentos del material que ingresó por la banda transportadora hasta reducirlos a un tamaño de partículas pasante malla 150. La alimentación del material a los molinos es continua, se adhiere agua para lograr una plasticidad en la pulpa fina, lo cual facilita la salida para la descarga del molino y su consiguiente proceso hacia las celdas de flotación o cianuración.
- **Flotación:** Utilizaron este método para la recuperación de concentrados de cobre, a través de espesantes y espumantes que actúan como reactivos para separar el mineral valioso de aquel material no valioso aprovechando sus características fisico-químicas, esto propicia la generación de espumas y su posterior colección mediante canaletas o launders, para lo cual implementaron equipos mecánicos denominados celdas de flotación. A continuación, se

detallan los reactivos que utilizaron en la planta de beneficio Goldserviplant para la flotación.

**Tabla 1.4.** Reactivos usados en la planta de beneficio GOLDSERVIPLANT.

Tipo	Nombre
Colector	Z6
Colector	MZ
Colector	125
Espumante	ER-350
Floculante	MT-4285

**Fuente:** Elaboración propia

- Recolección en piscinas:** Por último, almacenaron todo el material valioso es en una piscina que posteriormente fue recolectado en sacos para su venta y el material no valioso fue transportado por medio de una tubería a las piscinas de sedimentación en donde reposa el material, cuando este material se asentó en el fondo y el agua recorrió a otra piscina, la máquina excavadora hidráulica sacó el material y los acopló en forma de montaña donde se secan al aire libre.
 

**Nota:** La muestra representativa para este estudio se obtuvo de ese acoplo.



**Figura 1.13.** Acoplamiento del relave minero luego de extraer de las piscinas de sedimentación

**Fuente:** (Goldserviplant, 2021)

## CAPÍTULO 2

### METODOLOGÍA Y ENSAYO EXPERIMENTAL

#### 2.1. Caracterización de materiales

Para la elaboración de los morteros de la presente investigación se utilizaron materiales como cemento Holcim, arena sílice, agua y relave minero.

##### 2.1.1. Cemento Holcim

El cemento Holcim tipo GU, está destinado a obras de concreto en general. Este cemento viene en bolsas de 42,5 kg, es un cemento hidráulico para la construcción en general que está compuesto por clinker de cemento portland, sulfato de calcio y una o más adiciones puzolánicas naturales.



Figura 2.1. Cemento Holcim tipo GU

Fuente: (Holcim, 2022)

- **Análisis químico:** No se especifican requisitos químicos para los cementos por desempeño en la norma (INEN, 2011) sin embargo, los constituyentes individuales molidos y mezclados deben ser analizados durante la producción.
- **Características físicas:** Se especifican en la siguiente tabla.

**Tabla 2.1.** Especificaciones técnicas de Holcim fuerte tipo UG

<b>Características</b>	<b>Norma de ensayo aplicada</b>	<b>Holcim GU</b>
<b>Cambio de longitud por autoclave % máximo</b>	INEN 200	0.80
<b>Tiempo de fraguado inicial</b> No menos de un minuto No más de un minuto	INEN 158	45 420
<b>Contenido de aire del mortero, en % volumen</b>	INEN 195	-
<b>Resistencia a la compresión, MPa, mínimo</b> 3 días 7 días 28 días	INEN 488	13 20 28
<b>Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.</b>	INEN 2529	0.020

Fuente: (Holcim, 2022)

### 2.1.2. Agregado fino

En esta investigación se utilizó agregado fino en estado natural (arena sílice) la cual recomienda la norma (ASTM C109) y relave minero.

Se comenzó la investigación de los morteros, con el análisis mineralógico del relave a tratar, se tuvo un enfoque en el arsénico, cadmio y plomo, es por ello que se realizó el siguiente procedimiento previo al envío al laboratorio ELICROM.

- Se recolectó y empaquetó la muestra para su debido traslado (Portovelo-Cuenca).



**Figura 2.2.** Recolección de relave minero

**Fuente:** Elaboración propia

- Se esparció el relave minero en una superficie plana y se realizó el cuarteo de la muestra previamente secada al aire libre por 3 días.



**Figura 2.3.** Cuarteo de relave minero.

**Fuente:** Elaboración propia

- Se recolectó 500g de muestra representativa y posteriormente fue enviado al laboratorio mineralógico.



**Figura 2.4.** 500 g de muestra representativa

**Fuente:** Elaboración propia

- Se catalogó la muestra
- Se envió la muestra a laboratorios ELICROM para la caracterización del relave minero
- Se recibió los resultados mineralógicos obtenido de laboratorio ELICROM.

### **Documento de referencia**

**Tabla 2.2.** Referencia para definir parámetros de los metales de interés

<b>PARAMETRO</b>	<b>DOCUMENTO DE REFERENCIA</b>
ARSENICO	SM 3113 B, EPA 3050B, PEE.LE.071.
CADMIO	SM 3111 B, EPA 3050B, PEE.LE.035.
PLOMO	SM 3113 B, EPA 3050B, PEE.LE.071.

Fuente: Laboratorio ELICROM.

### Cantidad de arsénico, cadmio y plomo en ppm

Tabla 2.3. Resultados mineralógicos

Locación / puesto / muestra	Parámetro	Resultado	Unidad
Relave Minero- Planta de Beneficio GOLD SERVIPLANT. CIA. LTDA.	ARSENICO	126.7420	mg/Kg
	CADMIO	11.2734	mg/Kg
	PLOMO	15.8694	mg/Kg

Fuente: Laboratorio ELICROM.

#### 2.2. Contenido de humedad en las muestras procedentes del relave minero

Para determinar la humedad que poseen las muestras procedentes del relave minero, se realizó un proceso basado en la norma (ASTM C566). El cual es un ensayo que determina el porcentaje de humedad en una muestra de agregado por secado, ya sea la humedad superficial o la humedad en los poros del agregado.

##### Materiales y equipos necesarios:

- Agregado fino (relave minero)
- Balanza electrónica
- Horno
- Cucharas o espátulas
- Recipientes

##### Procedimiento:

- Se sometió la muestra a un secado al aire libre durante 48 horas y posteriormente se introdujo la muestra en el horno a una temperatura de 150°C por 24h.
- Se esparció el relave minero sobre una superficie plana y se procedió a cuartear, para obtener una muestra representativa homogénea.
- Se pesó 500g de muestra representativa



- Se introdujo los 500g de relave al horno durante 12h a una temperatura de 150°C.
- Se pesó la muestra representativa luego de cumplirse 12h en el horno.
- Se calculó el porcentaje de humedad mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Peso húmedo de la muestra} - \text{Peso seco de la muestra}}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \quad (4)$$

- Se repitió el mismo proceso tres veces para tres diferentes muestras y se realizó un promedio para obtener un resultado más preciso de la humedad.

### Muestra 1

**Tabla 2.4.** Datos de la muestra 1 para humedad.

N°	Nombre	Resultados
1	Peso del recipiente (g)	105
2	Peso del recipiente + muestra húmeda (g)	605
3	Peso de muestra húmeda (g)	500
4	Peso de recipiente + muestra seca (g)	572
5	Peso de la muestra seca (g)	467

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se aplicó la ecuación (4) y se determinó que la humedad en la muestra 1 es de:

$$\frac{605\text{g} - 572\text{g}}{572\text{g}} * 100 = 5,77\%$$

**Muestra 2****Tabla 2.5.** Datos de la muestra 2 para humedad.

N°	Nombre	Resultados
1	Peso del recipiente (g)	108
2	Peso del recipiente + muestra húmeda (g)	608
3	Peso de muestra húmeda (g)	500
4	Peso de recipiente + muestra seca (g)	571
5	Peso de la muestra seca (g)	46

**Fuente:** Elaboración propia

- Se aplicó la ecuación (4) y se determinó que la humedad en la muestra 2 es de:

$$\frac{608\text{g} - 571\text{g}}{571\text{g}} * 100 = \mathbf{6,48\%}$$

**Muestra 3****Tabla 2.6.** Datos de la muestra 3 para humedad.

N°	Nombre	Resultados
1	Peso del recipiente (g)	103
2	Peso del recipiente + muestra húmeda (g)	603
3	Peso de muestra húmeda (g)	500
4	Peso de recipiente + muestra seca (g)	567
5	Peso de la muestra seca (g)	464

**Fuente:** Elaboración propia

- Se aplicó la ecuación (4) y se determinó que la humedad en la muestra 1 es de:

$$\frac{603\text{g} - 567\text{g}}{567\text{g}} * 100 = \mathbf{6,35\%}$$

Humedad promedio de las muestras de relave minero: **6,20%**

### 2.3. Análisis granulométrico

Es la medición de los granos de una formación sedimentaria, donde los tamaños se analizan bajo una escala granulométrica con fines de conocer su origen como sus propiedades mecánicas. Consiste en la reducción del tamaño de una masa mineral con el fin de poder determinar el comportamiento que tiene la misma. El análisis granulométrico considera el tamaño de las diferentes partículas que se encuentran en una población de masa mineral representando sus resultados estadísticamente (Quimica.es, 2021).

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente se realizó un análisis granulométrico a la arena sílice y al relave minero mediante el tamizado. Este se divide en varias fracciones granulométricas de tamaños decrecientes, con el objetivo de obtener el tamaño de muestras pasantes en las siguientes mallas:

**Tabla 2.7.** Abertura de tamiz para determinar el límite granulométrico.

Número de malla (US STD)	Abertura de tamiz (mm)
10	
30	0,600
40	0,425
50	0,300
80	0,180
100	0,150
200	0,075
Base	-

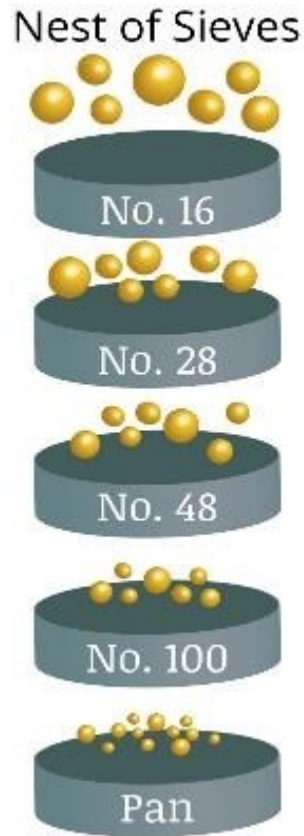
**Fuente:** Elaboración propia

### **Materiales y equipos necesario**

- Relave minero
- Juego de tamices
- Balanza electrónica
- Horno
- Recipientes
- Palas
- Maquina vibratoria
- Cuchareta
- Recipientes

### **Procedimiento:**

- Se pesó el agregado pasante de cada malla
- Se recopiló los datos del material retenido
- Se aplicó la ecuación (1) de Rosin Rammler
- Se obtuvo el  $d_{80}$  que expresa el tamaño de la malla teórica que produce un corte de tal forma que el 80% del producto es pasante, menor que el tamaño de malla, y el otro 20% es el rechazo o tamaño de los productos mayor que la malla (Blanco, 2014)
- Se verificó que se cumpla a cabalidad la norma (ASTM C778) que se refiere al tamaño correcto de la arena sílice la cual debe tener similitud con el tamaño de partículas del relave para así conseguir una mayor eficiencia



**Figura 2.5.** Pasante acumulado en diferentes mallas

**Fuente:** (Mining Mill Operator Training, 2022).

### **2.3.1. Ensayo para determinar d80 del relave minero**

Se inició este ensayo seleccionando el material del relave minero previamente cuarteado.

- Previamente se pesó el material y se introdujo en los tamices para su posterior ingreso a la tamizadora
- Se recopiló los datos del pasante acumulado
- Se pesó el material retenido final del relave minero

### 2.3.1.1. Tablas granulométricas del relave minero

#### Muestra 1

**Tabla 2.8.** Tabla granulométrica del relave minero muestra 1.

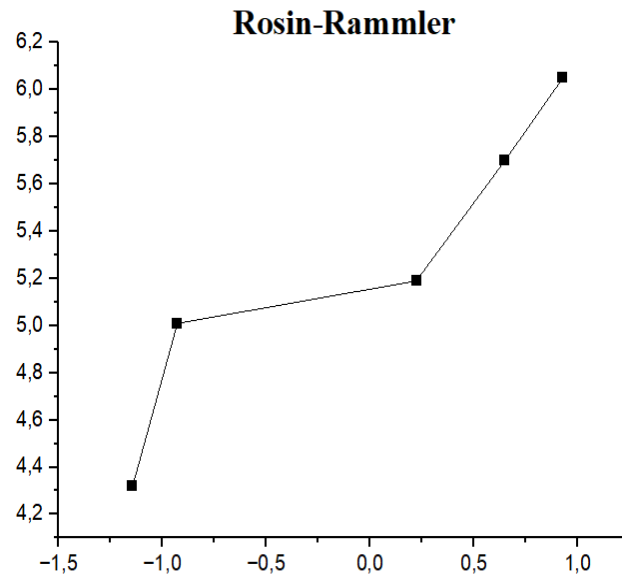
<b>Malla</b>	<b>Tamaño de malla x (μm)</b>	<b>Peso retenido (g)</b>	<b>Fracción retenida f(x)</b>	<b>Fracción pasante acumulada F(x)</b>	<b>Fracción retenida acumulada R(x)</b>
10	2000	0	0,00	1,00	0,00
30	600	40	0,08	1,00	0,00
40	425	30	0,07	0,92	0,08
50	300	70	0,14	0,85	0,15
80	180	190	0,39	0,71	0,29
100	150	30	0,05	0,33	0,67
200	75	70	0,13	0,27	0,73
-200	-75	70	0,14	0,14	0,86
		500	1,00	0,00	1,00

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.9.** Modelo de distribución Rosin Rammler del relave minero muestra 1.

<b>Rosin Rammler</b>	
<b>y</b>	<b>x</b>
<b>ln (x)</b>	<b>ln(ln(1/1-F(x)))</b>
60,520	0,9281
57,037	0,6494
51,929	0,2221
50,106	-0,9274
43,174	-11,435

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 2.6.** Distribución de Rosin Rammler del relave minero muestra 1.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 2.10.** Resumen de resultados del análisis granulométrico del relave minero muestra 1.

<b>Variable</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
<b>Parámetro de distribución</b>	m	1,301
<b>Parámetro de tamaño</b>	Xr	6,895
<b>80% del pasante</b>	D <sub>80</sub>	286,65 μm

**Fuente:** Elaboración propia

**Muestra 2****Tabla 2.11.** Tabla granulométrica del relave minero muestra 2.

<b>Malla</b>	<b>Tamaño de malla x (μm)</b>	<b>Peso retenido (g)</b>	<b>Fracción retenida f(x)</b>	<b>Fracción pasante acumulada F(x)</b>	<b>Fracción retenida acumulada R(x)</b>
10	2000	0	0,00	1,00	0,00
30	600	20	0,04	1,00	0,00
40	425	30	0,06	0,96	0,04
50	300	70	0,14	0,90	0,10
80	180	210	0,41	0,76	0,24
100	150	40	0,09	0,35	0,65
200	75	70	0,15	0,26	0,74
-200	-75	60	0,12	0,12	0,88
		510	1,00	0,00	1,00

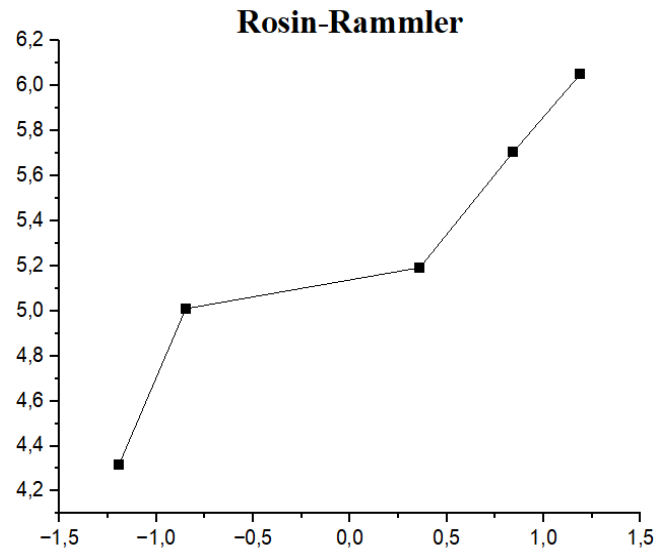
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2.12.** Modelo de distribución Rosin Rammler del relave minero muestra 2.

<b>Rosin Rammler</b>	
<b>y</b>	<b>x</b>
<b>ln (x)</b>	<b>ln(ln(1/1-F(x)))</b>
6,0520	1,1896
5,7037	0,8409
5,1929	0,3609
5,0106	-0,8477
4,3174	-1,1921

Fuente: Elaboración propia





**Figura 2.7.** Distribución de Rosin Rammler del relave minero muestra 2.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 2.13.** Resumen de resultados del análisis granulométrico del relave minero muestra 2.

<b>Variable</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
<b>Parámetro de distribución</b>	m	1,477
<b>Parámetro de tamaño</b>	Xr	7,692
<b>80% del pasante</b>	D <sub>80</sub>	282,40 $\mu\text{m}$

**Fuente:** Elaboración propia

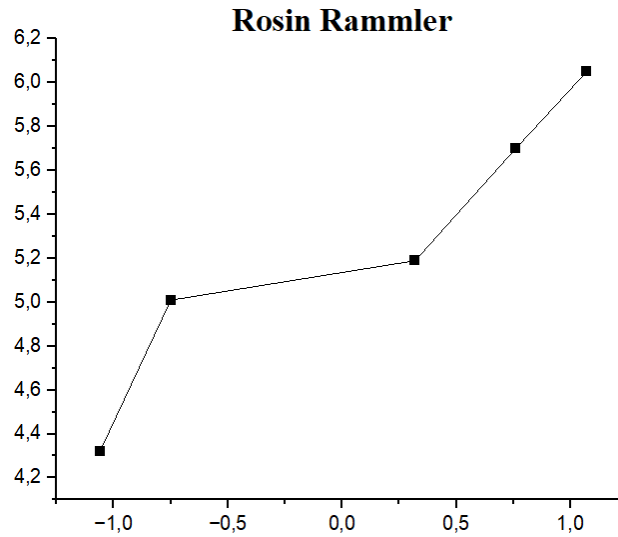
**Muestra 3****Tabla 2.14.** Tabla granulométrica del relave minero muestra 3

<b>Malla</b>	<b>Tamaño de malla x (µm)</b>	<b>Peso retenido (g)</b>	<b>Fracción retenida f(x)</b>	<b>Fracción pasante acumulada F(x)</b>	<b>Fracción retenida acumulada R(x)</b>
10	2000	0	0,00	1,00	0,00
30	600	30	0,05	1,00	0,00
40	425	30	0,06	0,95	0,05
50	300	70	0,14	0,88	0,12
80	180	190	0,37	0,75	0,25
100	150	40	0,09	0,38	0,62
200	75	80	0,16	0,29	0,71
-200	-75	70	0,13	0,13	0,87
		500	1,00	0,00	1,00

**Fuente:** Elaboración propia**Tabla 2.15.** Modelo de distribución Rosin Rammler del relave minero muestra 3.

<b>Rosin Rammler</b>	
<b>y</b>	<b>x</b>
<b>ln (x)</b>	<b>ln(ln(1/1-F(x)))</b>
6,0520	1,0738
5,7037	0,7631
5,1929	0,3152
5,0106	-0,7482
4,3174	-1,0646

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 2.8.** Distribución de Rosin Rammler del relave minero muestra 3.

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.16.** Resumen de resultados del análisis granulométrico del relave minero muestra 3.

Variable	Símbolo	Valor
Parámetro de distribución	m	1,3263
Parámetro de tamaño	Xr	6,9023
80% del pasante	D <sub>80</sub>	260,60 μm

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 2.17.** Resultados del análisis granulométrico d80 del relave minero.

	Muestra		
	1	2	3
D80 (μm)	286,64	282,40	260,60
Promedio d80 del relave minero (μm)	271,50		

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3.2. Ensayo para determinar d80 de la arena sílice

Se inició este ensayo seleccionando la arena sílice previamente cuarteada.

- Se pesó el material y se introdujo en los tamices para su posterior ingreso a la tamizadora
- Se recopiló los datos del pasante acumulado
- Se pesó el retenido final de la arena sílice

#### 2.3.2.1. Tablas granulométricas de la arena sílice

##### Muestra 1

**Tabla 2.18.** Tabla granulométrica de la arena sílice muestra 1.

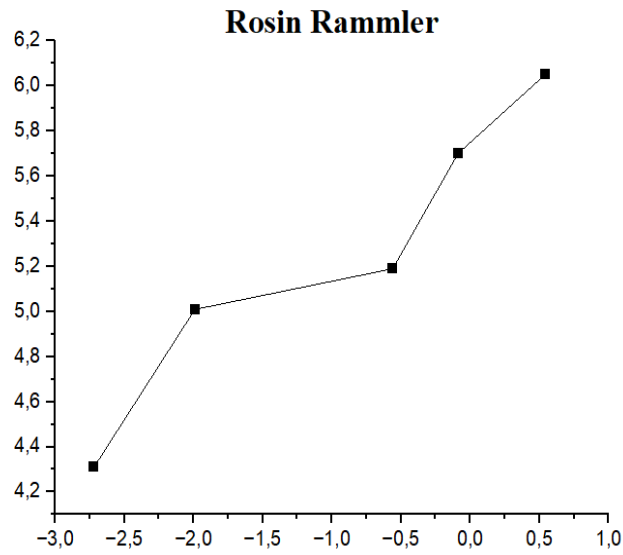
<b>Malla</b>	<b>Tamaño malla (<math>\mu\text{m}</math>) x</b>	<b>Peso retenido (g)</b>	<b>Fracción retenida f(x)</b>	<b>Fracción pasante acumulada F(x)</b>	<b>Fracción retenida acumulada R(x)</b>
10	2000	0	0,00	1,00	0,00
30	600	70	0,16	1,00	0,00
40	425	80	0,19	0,84	0,16
50	300	90	0,21	0,65	0,35
80	180	130	0,31	0,44	0,56
100	150	20	0,06	0,13	0,87
200	75	30	0,06	0,07	0,93
-200	-75	10	0,01	0,01	0,99
		430	1,00	0,00	1,00

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.19.** Modelo de distribución Rosin Rammler de la arena sílice muestra 1.

<b>Rosin Rammler</b>	
<b>y</b>	<b>x</b>
<b>ln (x)</b>	<b>ln(ln(1/1-F(x)))</b>
6,0520	0,6028
5,7037	0,0495
5,1929	-0,5433
5,0106	-1,9669
4,3174	-2,5572

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 2.9.** Distribución de Rosin Rammler de la arena sílice muestra 1

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.20.** Resumen de resultados del análisis granulométrico de la arena sílice muestra 1.

<b>Variable</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
<b>Parámetro de distribución</b>	m	1,951
<b>Parámetro de tamaño</b>	Xr	11,223
<b>80% del pasante</b>	D <sub>80</sub>	401,21 $\mu\text{m}$

**Fuente:** Elaboración propia

## Muestra 2

**Tabla 2.21.** Tabla granulométrica de la arena sílice muestra 2.

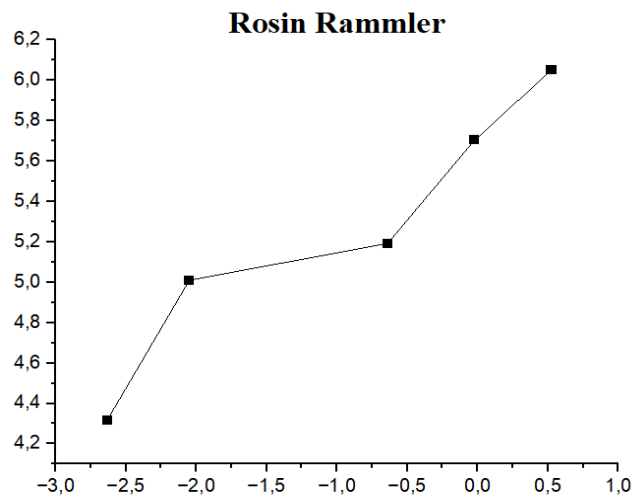
<b>Malla</b>	<b>Tamaño malla (<math>\mu\text{m}</math>) x</b>	<b>Peso retenido (g)</b>	<b>Fracción retenida f(x)</b>	<b>Fracción pasante acumulada F(x)</b>	<b>Fracción retenida acumulada R(x)</b>
10	2000	0	0	1	0,00
30	600	93	0,18	1,00	0,00
40	425	97	0,19	0,81	0,18
50	300	108	0,21	0,62	0,37
80	180	146	0,28	0,40	0,58
100	150	26	0,05	0,12	0,86
200	75	29	0,05	0,06	0,91
-200	-75	6	0,01	0,01	0,96
		505	1	0	1

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 2.22.** Modelo de distribución Rosin Rammler de la arena sílice muestra 2.

<b>Rosin Rammler</b>	
y	x
<b>ln (x)</b>	<b>ln(ln(1/1-F(x)))</b>
6,0520	0,5258
5,7037	-0,0227
5,1929	-0,6396
5,0106	-2,0500
4,3174	-2,6335

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 2.10.** Distribución de Rosin Rammler de la arena sílice muestra 2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.23.** Resumen de los resultados del análisis granulométrico de la arena sílice muestra 2.

<b>Variable</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
<b>Parámetro de distribución</b>	m	1,922
<b>Parámetro de tamaño</b>	Xr	11,067
<b>80% del pasante</b>	D <sub>80</sub>	405,21 $\mu\text{m}$

**Fuente:** Elaboración propia.

### Muestra 3

**Tabla 2.24.** Tabla granulométrica de la arena sílice muestra 3.

<b>Malla</b>	<b>Tamaño malla (<math>\mu\text{m}</math>) x</b>	<b>Peso retenido (g)</b>	<b>Fracción retenida f(x)</b>	<b>Fracción pasante acumulada F(x)</b>	<b>Fracción retenida acumulada R(x)</b>
10	2000	0	0	1	0,00
30	600	91	0,17	1	0,00
40	425	98	0,19	0,82	0,17
50	300	105	0,20	0,62	0,36
80	180	149	0,29	0,42	0,56
100	150	26	0,051	0,12	0,85
200	75	34	0,06	0,07	0,90
-200	-75	5	0,00	0,01	0,96
		508	1	0	1

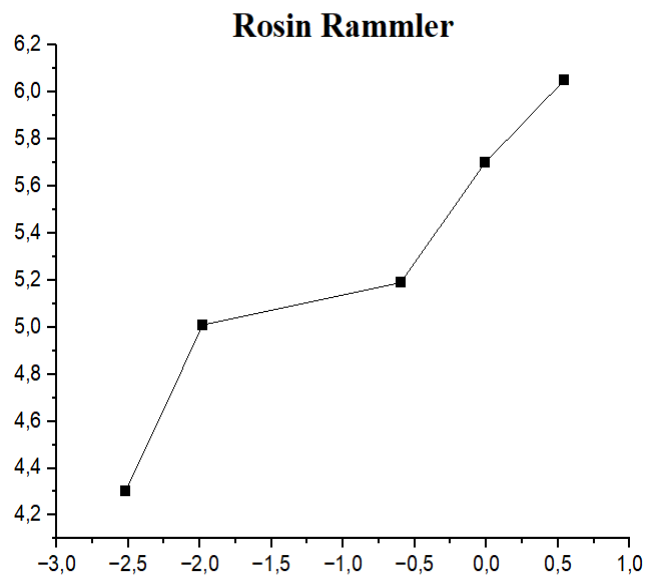
**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 2.25.** Modelo de distribución Rosin Rammler de la arena sílice muestra 3.

<b>Rosin Rammler</b>	
y	x
<b>ln (x)</b>	<b>ln(ln(1/1-F(x)))</b>
6,05	0,54
5,70	-0,01
5,19	-0,60
5,01	-1,98
4,3	-2,52

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 2.11.** Distribución de Rosin Rammler de la arena sílice muestra 3

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.26.** Resumen de los resultados del análisis granulométrico de la arena sílice muestra 3.

<b>Variable</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
<b>Parámetro de distribución</b>	m	1,8668
<b>Parámetro de tamaño</b>	Xr	10,728
<b>80% del pasante</b>	D <sub>80</sub>	404,09 μm

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.27.** Resultados del análisis granulométrico d80 de la arena sílice.

	<b>Muestra</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>D80</b>	401,21 μm	405,21 μm	404,09 μm
<b>Promedio d80 de la arena sílice (μm)</b>	403,51 μm		

**Fuente:** Elaboración propia

#### **2.4. Dosificación para formar los morteros**

Un mortero se diseña con proporciones adecuadas de cemento, agregados y agua, con la finalidad de obtener un producto que sea manejable y que endurecido cumpla con la resistencia a la compresión simple establecida, a los 7, 14 y 28 días. La cantidad de cada material requerido para realizar los morteros se encuentra establecida en la norma (ASTM C109) la cual detalla la dosificación para realizar 6 muestras de (5cmx5cm):

**Tabla 2.28.** Dosificación para morteros con cemento hidráulico.

<b>6 muestras</b>	
Cemento portland (g)	500
Arena (g)	1375
Agua (ml)	242
Relación agua/cemento	0,485

**Fuente:** (ASTM C109)

Se analizó la cantidad de material que se requiere para realizar 6 muestras y se calculó las cantidades para formar 9 muestras ya que en este estudio se requirió 9 lotes de cada mezcla. Cabe mencionar que el único factor que se alteró fue el porcentaje de arena ya que fue sustituido en diferentes proporciones por el relave minero.

**Tabla 2.29.** Dosificación de los materiales para realizar morteros de cemento.

<b>54 muestras</b>							
<b>9 muestras por lote</b>	<b># de mezcla</b>	<b>Porcentajes %</b>		<b>Arena (g)</b>	<b>Relave minero (g)</b>	<b>Cemento (g)</b>	<b>Agua (ml)</b>
		<b>arena</b>	<b>relave minero</b>				
Lote 1	1	100	0	2062,5	0,0	750,0	364
Lote 2	2	80	20	1650,0	412,5	750,0	364
Lote 3	3	60	40	1237,5	825,0	750,0	364
Lote 4	4	40	60	825,0	1237,5	750,0	364
Lote 5	5	20	80	412,5	1650,0	750,0	364
Lote 6	6	0	100	0,0	2062,5	750,0	364

**Fuente:** Elaboración propia.

## **2.5. Elaboración de morteros**

Se preparó las mezclas especificadas en la (tabla 2.27) y se siguió detalladamente lo que define la norma (**ASTM C109**) para un apisonamiento manual.

Se tuvo en cuenta que las proporciones del mortero estándar que menciona la norma (**ASTM C109**) trata de 1 parte de cemento por 2,75 partes de agregado fino (arena/ relave) y una relación de agua/cemento de 0,485.

### **Materiales y equipos necesarios:**

- Balanza electrónica
- Fundas herméticas
- Toallas absorbentes
- Recipientes
- Tarrinas
- Espátula
- Guantes
- Taladro
- Tamper
- Moldes de acero

### **Procedimiento:**

- El relave minero que se obtuvo de la planta de beneficio Goldserviplant se encontró en un estado acuoso, por lo que se realizó un secado al ambiente por 3 días, y para el secado final se calentó en el horno a 150°C por 12h.



**Figura 2.12.** Relave minero en estado acuoso.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se pesó la cantidad correcta de arena, cemento y agua.



**Figura 2.13.** Peso del material en las proporciones adecuadas.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se empaquetó el material en fundas herméticas, para mayor facilidad de manipulación.



**Figura 2.14.** Empaquetamiento de material compuestas de diferentes mezclas

**Fuente:** Elaboración propia

- Se aplicó una fina capa de vaselina en el interior del molde y de las placas base.



**Figura 2.15.** Aplicación de antiadherente en los moldes.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se depositó el agregado fino, el cemento y el agua previamente pesados a un recipiente hondo, se mezcló durante 15 segundos a velocidad normal y constante. Una vez finalizado el mezclado, se agitó la espátula para eliminar el exceso de mezcla y se dio unos ligeros golpes al molde, después se volvió a mezclar durante otros 15 segundos por 3 veces.



**Figura 2.16.** Mezcla de materiales sólidos

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se rellenó los moldes en un tiempo de dos minutos a dos minutos con treinta segundos.



**Figura 2.17.** Aplicación de antiadherente en los moldes.

**Fuente:** Elaboración propia

- Se colocó una capa de mortero de aproximadamente 25 mm en el molde. Luego se apisonó el mortero en cada compartimiento del cubo 32 veces en unos 10 segundos en cuatro rondas, que consistió en ocho golpes contiguos sobre la superficie del molde.



**Figura 2.18.** Primera capa de mortero de aproximadamente 25 mm<sup>2</sup>

**Fuente:** Elaboración propia

- Se ejerció una presión contante para asegurar un llenado uniforme de los moldes.
- Se finalizó el apisonado
- La parte superior del cubo quedó sobresalida ligeramente de las paredes.
- Se cortó el mortero hasta conseguir una superficie plana.
- Se aplanó la cara anteriormente cortada, y así se obtuvo un cubo uniforme.



**Figura 2.19.** Enrazado

**Fuente:** Elaboración propia



- Al terminar el moldeo, se colocó las muestras en el armario o en un cuarto a temperatura ambiente, cubiertas con una toalla absorbente en la parte superior.



**Figura 2.20.** Muestras cubiertas con un paño húmedo

**Fuente:** Elaboración propia

- Se mantuvo las muestras dentro del armario o cuarto húmedo por un lapso de 24 horas.
- Se desmoldó y sumergió las muestras en agua hasta que se realizó las pruebas de resistencia a la compresión simple y absorción a los 7, 14 y 28 días respectivamente.



**Figura 2.21.** Muestras sumergidas en agua hasta los 7, 14 y 28 días.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Observación:** Al momento de desmoldar la muestra 5 con la fórmula de (20% arena sílice - 80% relave minero) se observó que no se compactó bien y tenía desprendimiento de los bordes es por ello que se realizó otra prueba.

Para la otra prueba se agregó más agua y cemento manteniendo la relación 0,485 entre ambas, se mantuvo la cantidad de agregado fino como la norma (ASTM C109) recomienda. Se obtuvo un nuevo lote que se lo denominó como muestra 5, y el lote que anteriormente fallo se le denominó como 5x, y por ende la mezcla 6 al tener más relave minero requirió de más agua y cemento, igual que la mezcla anterior se aumentó el agua y cemento manteniendo la relación, por lo tanto, se obtuvo la siguiente tabla actualizada:

**Tabla 2.30.** Dosificación actualizada de los materiales para realizar morteros de cemento.

63 muestras							
9 muestras por lote	# de mezcla	Porcentajes %		Arena (g)	Relave minero (g)	Cemento (g)	Agua (ml)
		arena	relave minero				
Lote 1	1	100	0	2062,5	0,0	750,0	364
Lote 2	2	80	20	1650,0	412,5	750,0	364
Lote 3	3	60	40	1237,5	825,0	750,0	364
Lote 4	4	40	60	825,0	1237,5	750,0	364
Lote 5x	5x	20	80	412,5	1650,0	750,0	364
Lote 5	5	20	80	412,5	1650,0	894,8	434
Lote 6	6	0	100	0,0	2062,5	894,8	434

**Fuente:** Elaboración propia.

## 2.6. Ensayo de resistencia a la compresión simple en probetas.

Trata del esfuerzo de compresión simple máximo que puede tolerar la probeta antes de fracturarse debido a que aplica una carga uniforme (Glossary, 2022).

De las 63 muestras detalladas anteriormente se utilizaron 35 de ellos para determinar la resistencia a la compresión simple.

**Materiales y equipos necesarios:**

- Prensa hidráulica
- Balanza electrónica
- Mortero

**Procedimiento:**

Se siguió los pasos definidos por la norma (ASTM C109) y se realizó el mismo procedimiento a los 7, 14 y 28 días.

- Se limpió cada probeta hasta que la superficie quedó seca y a su vez se eliminó los granos de arena sueltos.



**Figura 2.22.** Probeta colocada en placa de medición de 50 mm<sup>3</sup>.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Con la probeta limpia, seca y sin grumos se pesó el mortero antes de la rotura



**Figura 2.23.** Peso del mortero antes de la rotura.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se midió los lados de la cara la cual soportó la presión que ejerció la prensa hidráulica, de la siguiente manera:



**Figura 2.24.** Ejes de dimensión

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se colocó la probeta con cuidado en el centro de la prensa hidráulica, se comprobó que la probeta esté libre de alguna inclinación (no se debe utilizar materiales de amortiguación o de apoyo).



**Figura 2.25.** Probeta colocada en el centro de la prensa hidráulica.

**Fuente:** Elaboración propia

- Se aplicó la carga a una velocidad constante a la cara que estuvo en contacto con la superficie plana de la prensa hidráulica.



**Figura 2.26.** Probeta luego de soportar la carga máxima ejercida.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se registró la carga máxima que dio como resultado de la prensa hidráulica (en caso de ser necesario se debe calcular la resistencia a la compresión), en este caso de estudio la prensa hidráulica del laboratorio de ingeniería civil perteneciente a la Universidad del Azuay nos brindó resultados directos en ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ).



**Figura 2.27.** Datos directos marcados por la prensa hidráulica.

**Fuente:** Elaboración propia

## 2.7. Ensayo de absorción en morteros

El ensayo de absorción mide el ritmo de absorción de agua de los hormigones de cemento, ya que mide el incremento de la masa del mortero como resultado de la absorción de agua en función del tiempo, cuando solo se expone al agua una superficie del mortero formado.

Según la norma (**ASTM C1585-04**) “La absorción de agua depende de muchos factores” donde los más importantes son:

- Las dosificaciones para realizar la mezcla
- La presencia de aditivos químicos
- La composición y características físicas de los componentes
- El contenido de aire incorporado
- El tiempo de curado
- El grado de hidratación
- La presencia de micro fisuras
- La presencia de tratamientos superficiales tales como selladores o grasa para el desmolde

### **Materiales y equipos necesario:**

- Horno
- Balanza electrónica
- Recipientes, deben contar con la tapa y cumplir con una altura mínima de 80 mm
- Cronómetro
- Impermeabilizante
- Fundas herméticas
- Mortero

### **Procedimiento:**

Para este ensayo se utilizaron un total de 28 muestras. Para el correcto ensayo se siguió los pasos mencionados en la norma (**UNE 83982, 2008**).

- Se realizó los ensayos de absorción a los 7 y 28 días.

- Se determinó el peso del mortero antes de ingresar al horno
- Se ingresó el mortero al horno durante 12h a 175°C
- Se pesó el mortero después de 12h de estar en el horno



**Figura 2.28.** Peso del mortero luego de salir del horno.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se aplicó una capa de 20 mm<sup>2</sup> de impermeabilizante en los respectivos morteros.



**Figura 2.29.** Aplicación de impermeabilizante en el mortero.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se pesó los morteros con la capa impermeabilizante, la cual en un cuadrado de  $50 \text{ mm}^3$  se impermeabiliza mínimo  $20 \text{ mm}^2$  y los  $30 \text{ mm}^2$  restantes estuvieron expuestos al agua.



**Figura 2.30.** Peso del mortero luego de aplicar la capa impermeabilizante.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se colocó el mortero en el fondo del recipiente con agua hasta que se sumergió  $30 \text{ mm}^2$ .



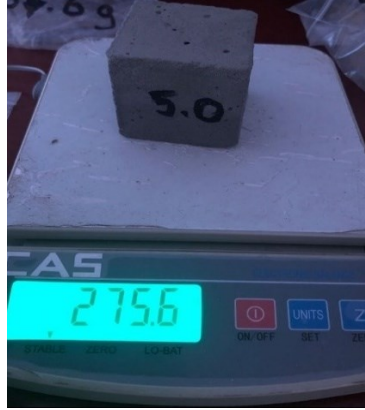
**Figura 2.31.** Probeta sumergida  $30 \text{ mm}^2$

**Fuente:** Elaboración propia

- Todas las operaciones que conllevaron pesar el mortero fueron secadas ligeramente con un paño humedecido para retirar las gotas condensadas.
- Se pesó los morteros en un periodo de tiempo inferior a 30s desde que salieron del recipiente.



- Se puso en marcha el cronómetro y se pesó las probetas en intervalos de 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 1h, 2h, 3h, 4h, 6h, 24h, 48h, 72h.



**Figura 2.32.** Peso de la probeta luego de estar sumergida.

**Fuente:** Elaboración propia.

- Se registró el tiempo y se pesó los morteros en los tiempos mencionados

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 3.1. Análisis de resultados

Los resultados están divididos por secciones, para lo cual se los denominó de la siguiente manera, para el ensayo de resistencia se etiquetó como probeta y para el ensayo de absorción se etiquetó como mortero.

**Tabla 3.1.** Dosificación de los materiales para realizar las muestras.

Cantidad de muestras	Número de mezcla #	Porcentajes %		Probeta	Mortero
		Arena sílice	Relave minero		
9	1	100	0	1	1.1
				2	1.2
9	2	80	20	3	2.1
				4	2.2
9	3	60	40	5	3.1
				6	3.2
9	4	40	60	7	4.1
				8	4.2
9	5x	20	80	9	5.1
				10	5.2
9	5	20	80	11	5x.1
				12	5x.2
9	6	0	100	13	6.1
				14	6.2

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.1. Resistencia a la compresión simple

Para este ensayo se designó de cada lote de muestras, 2 probetas para los 7 días, 2 probetas para las 14 y 2 probetas para los 28 días posteriores a su creación, la fuerza máxima que soportaron las probetas y el esfuerzo máximo que ejercieron, se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 3.2.** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple a los 7 días.

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE A LOS 7 DÍAS</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>X (mm)</b>	<b>Y (mm)</b>	<b>ÁREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>ESFUERZO (MPa)</b>	<b>FUERZA (kN)</b>
<b>Probeta 1</b>	49	50	2450	4,392	10,762
<b>Probeta 2</b>	50	48	2400	4,864	11,675
<b>Probeta 3</b>	49	50	2450	5,827	14,278
<b>Probeta 4</b>	48	49	2352	7,280	17,123
<b>Probeta 5</b>	48	50	2400	7,067	16,962
<b>Probeta 6</b>	48	49	2352	7,166	16,855
<b>Probeta 7</b>	50	48	2400	9,818	23,564
<b>Probeta 8</b>	49	48	2352	11,348	26,692
<b>Probeta 9</b>	48	50	2400	5,412	12,992
<b>Probeta 10</b>	49	49	2401	5,723	13,741
<b>Probeta 11</b>	50	48	2400	5,043	12,104
<b>Probeta 12</b>	49	49	2401	4,605	11,057
<b>Probeta 13</b>	48	50	2400	4,644	11,147
<b>Probeta 14</b>	48	49	2352	4,407	10,367

**Fuente:** Elaboración propia.

La probeta 14 (100% relave minero) soportó una carga máxima de 4,407 MPa siendo la menos resistente, la probeta 6 (60% arena sílice – 40% relave minero) resistió una carga máxima de 7,166 MPa siendo este la resistencia media y por último la probeta 8 (40% arena sílice – 60% relave minero) reflejó una resistencia máxima de 11,348 MPa demostrando ser la mejor a los 7 días de curado.

**Tabla 3.3.** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple a los 14 días.

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE A LOS 14 DÍAS</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>X (mm)</b>	<b>Y (mm)</b>	<b>ÁREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>ESFUERZO (MPa)</b>	<b>FUERZA (kN)</b>
<b>Probeta 1</b>	49	48	2352	8,120	19,088
<b>Probeta 2</b>	48	49	2352	10,440	24,557
<b>Probeta 3</b>	49	49	2401	6,990	16,774
<b>Probeta 4</b>	50	50	2500	10,770	26,936
<b>Probeta 5</b>	48	50	2400	4,940	11,857
<b>Probeta 6</b>	50	50	2500	5,670	14,171
<b>Probeta 7</b>	50	49	2450	6,060	14,842

**Fuente:** Elaboración propia.

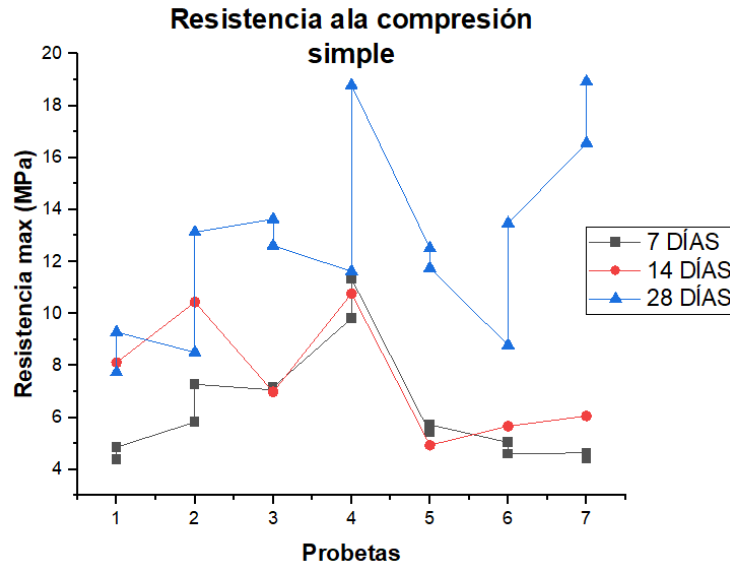
A los 14 días de curado, la probeta 5 (60% arena sílice – 40% relave minero) reflejó una resistencia máxima de 4,940 MPa siendo esta la menos resistente, de la misma forma la probeta 3 (80% arena sílice – 20% relave minero) que obtuvo una carga máxima de 6,990 MPa siendo una resistencia intermedia y finalmente la probeta 4 (80% arena sílice – 20% relave minero) soportó una carga máxima de 10,770 MPa constituyendo la muestra con mejor resistencia.

**Tabla 3.4.** Resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple a los 28 días.

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE A LOS 28 DÍAS</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>X (mm)</b>	<b>Y (mm)</b>	<b>ÁREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>ESFUERZO (MPa)</b>	<b>FUERZA (kN)</b>
<b>Probeta 1</b>	50	49	2450	7,745	18,975
<b>Probeta 2</b>	49	48	2352	9,288	21,846
<b>Probeta 3</b>	48	48	2304	8,513	19,613
<b>Probeta 4</b>	49	49	2401	13,134	31,535
<b>Probeta 5</b>	49	48	2352	13,636	32,072
<b>Probeta 6</b>	50	49	2450	12,616	30,908
<b>Probeta 7</b>	50	50	2500	11,625	29,062
<b>Probeta 8</b>	48	48	2304	18,789	43,290
<b>Probeta 9</b>	49	49	2401	12,519	30,059
<b>Probeta 10</b>	49	48	2352	11,753	27,644
<b>Probeta 11</b>	49	49	2401	8,786	21,095
<b>Probeta 12</b>	49	48	2352	13,476	31,696
<b>Probeta 13</b>	49	50	2450	16,564	40,580
<b>Probeta 14</b>	50	49	2450	18,929	46,377

**Fuente:** Elaboración propia.

Se demostró que la probeta 1 (100% arena sílice) resistió una carga máxima de 7,745 MPa quedando como la menor resistencia, la carga máxima de la probeta 2 (100% arena sílice) correspondió a la resistencia intermedia con 9,288 MPa, finalmente la probeta 14 (100% relave minero) con una carga máxima de 18,929 MPa reflejó la mayor resistencia a los 28 días de curado.



**Figura 3.1.** Resistencia de las probetas en diferentes días.

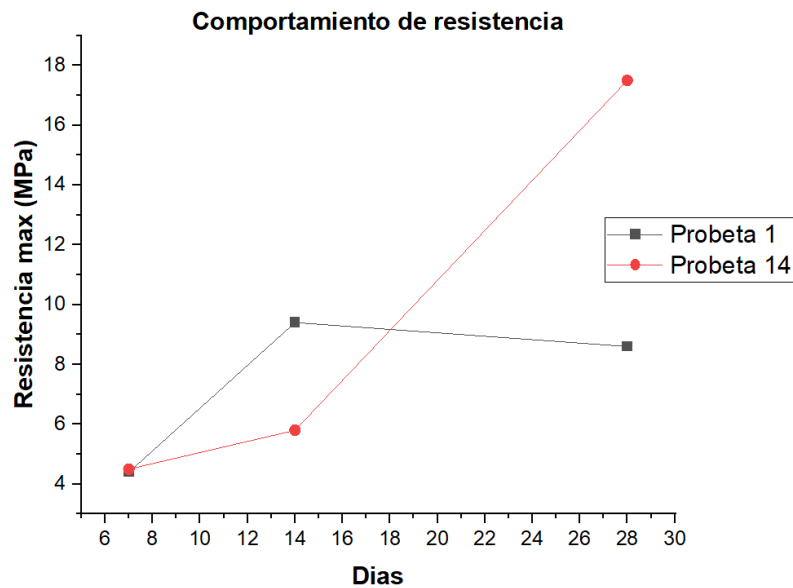
**Fuente:** Elaboración propia.

Para ver los porcentajes de arena sílice y relave minero de las probetas revisar (tabla 3.1).

Se analizó que a los 7 días de curado las probetas 1,2,3 y 4 aumentaron su resistencia de manera constante, se observó que desde la probeta 4 hasta la 6 se mantuvo la resistencia de manera lineal, siguiendo así desde probeta 6 hasta la 8 hubo un aumento de resistencia, y en la probeta 9 se evidenció una disminución de resistencia en picada, y por último se mantuvieron las últimas probetas con una resistencia baja.

A los 14 días las probetas 1 y 2 mantuvieron una resistencia uniforme, se observó que las probetas 3 y 4 tuvieron un aumento de resistencia y al pasar a la probeta 5 esta disminuyó notablemente su resistencia seguida de la probeta 6, posteriormente las probetas 7 y 8 aumentaron su resistencia, finalmente con la probeta 9 la resistencia disminuyó, se observó que desde esta probeta en adelante las resistencias son las más bajas.

Finalmente a los 28 días se observó un aumento de resistencia de la probeta 1 a la 2, al pasar a la probeta 3 hubo una disminución pero desde la probeta 4 ocurrió un aumento notable de resistencia que se mantuvo hasta la probeta 10, en la probeta 11 se efectuó un cambio de resistencia siendo este muy bajo y desde esta probeta en adelante se observó que la resistencia aumento de manera constante, teniendo en cuenta que estas últimas probetas fueron realizadas con mayores porcentajes de relave minero, de esta manera se demuestra que al pasar los días de curado las probetas realizados con relave minero son las mejores.



**Figura 3.2.** Comportamiento de las mejores probetas de la resistencia a la compresión simple

**Fuente:** Elaboración propia.

En la (figura 3.2) se comparó la resistencia que tuvo la probeta 1 (100% arena sílice) con la probeta 14 (100% relave minero), se pudo observar que en los 17 días de curado las probetas tenían la misma resistencia, pero al pasar los días de curado la probeta 14 mejoró día tras día mientras la probeta 1 iba disminuyendo su resistencia.

### 3.1.2. Ensayo de absorción de agua de los morteros

Para este ensayo se designó de cada lote de muestras 2 muestras para los 7 días, 2 muestras para los 28 días, se registró los pesos de los morteros en diferentes intervalos de tiempo, se detalla en la siguiente tabla:



**Mortero 1 (7 días)****Tabla 3.5.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 1 a los 7 días.

<b>Mortero 1.1</b>					<b>Mortero 1.2</b>			
<b>Tiempos de ensayo</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>
5 min	276,80	247,60	249,20	254,80	271,00	238,70	244,10	248,30
10 min				256,70				250,40
15 min				259,10				252,30
30 min				262,40				254,70
1 h				264,30				256,80
2 h				268,40				259,50
3 h				271,20				262,70
4 h				272,80				263,50
6 h				273,40				267,60
24 h				274,80				269,10
48 h				275,40				270,10
72 h				275,90				267,40

**Fuente:** Elaboración propia

Los morteros 1.1 y 1.2 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 271,65 g.

**Mortero 1 (28 días)****Tabla 3.6.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 1 a los 28 días.

<b>Mortero 1.3</b>					<b>Mortero 1.4</b>			
<b>Tiempos de ensayo</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>
5 min	277,7	244,8	246,1	248,20	268,6	231,5	233,8	247,10
10 min				250,70				249,60
15 min				250,80				252,30
30 min				254,90				256,40
1 h				268,40				257,60
2 h				269,30				263,30
3 h				271,50				264,60
4 h				272,60				265,10
6 h				273,90				265,90
24 h				274,20				266,30
48 h				274,90				267,30
72 h				275,00				267,40

**Fuente:** Elaboración propia

Los morteros 1.3 y 1.4 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 271,2 g.

**Mortero 2 (7 días)****Tabla 3.7.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 2 a los 7 días.

<b>Mortero 2.1</b>					<b>Mortero 2.2</b>			
<b>Tiempos de ensayo</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>
5 min	276,3	236,7	242,6	256,40	274,1	245,9	240,6	253,80
10 min				258,70				256,80
15 min				262,40				262,40
30 min				264,30				267,40
1 h				268,70				270,70
2 h				270,30				271,50
3 h				272,60				271,60
4 h				273,60				272,20
6 h				274,10				272,30
24 h				274,40				272,40
48 h				274,60				272,60
72 h				274,90				272,60

**Fuente:** Elaboración propia.

Los morteros 2.1 y 2. al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 273,75 g.

**Mortero 2 (28 días)****Tabla 3.8.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 2 a los 28 días.

Mortero 2.3					Mortero 2.4			
Tiempos de ensayo	Peso del mortero antes del horno (g)	Peso después del mortero seco (g)	Peso con impermeabilizador (g)	Pesos en diferentes tiempos (g)	Peso del mortero antes del horno (g)	Peso después del mortero seco (g)	Peso con impermeabilizador (g)	Pesos en diferentes tiempos (g)
5 min	292,5	260,9	262,5	272,90	283,7	244,4	247,8	264,60
10 min				274,50				269,30
15 min				278,40				272,80
30 min				280,30				273,20
1 h				281,10				275,10
2 h				283,9				278,30
3 h				285,40				279,60
4 h				286,20				280,30
6 h				289,50				281,00
24 h				289,70				281,40
48 h				290,10				282,30
72 h				290,50				282,50

**Fuente:** Elaboración propia.

Los morteros 2.3 y 2.4 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 286,5 g.

**Mortero 3 (7 días)****Tabla 3.9.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 3 a los 7 días.

<b>Mortero 3.1</b>					<b>Mortero 3.2</b>			
<b>Tiempos de ensayo</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>
5 min	284,7	247,6	251,1	264,0	279,7	243,1	246,2	258,7
10 min				270,7				258,9
15 min				274,8				265,8
30 min				276,8				267,3
1 h				277,3				269,8
2 h				278,3				270,3
3 h				279,4				273,4
4 h				280,1				275,5
6 h				280,4				275,9
24 h				280,6				276,2
48 h				281,1				276,9
72 h				281,5				277,2

**Fuente:** Elaboración propia.

Los morteros 2.4 y 2.5 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 279,35 g.

**Mortero 3 (28 días)****Tabla 3.10.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 3 a los 28 días.

<b>Mortero 3.3</b>				<b>Mortero 3.4</b>				
<b>Tiempos de ensayo</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>
5 min	295,9	258,4	261,0	273,8	281,7	248,4	250,5	253,9
10 min				274,9				254,6
15 min				276,3				256,3
30 min				279,4				264,2
1 h				280,3				277,3
2 h				282,9				269,8
3 h				284,2				271,6
4 h				286,4				273,5
6 h				291,8				276,9
24 h				292,1				278,5
48 h				294,2				279,1
72 h				294,6				279,4

**Fuente:** Elaboración propia.

Los morteros 3.3 y 3.4 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 287 g.

**Mortero 4 (7 días)****Tabla 3.11.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 4 a los 7 días.

Tiempos de ensayo	Mortero 4.1				Mortero 4.2			
	Peso del mortero antes del horno (g)	Peso después del mortero seco (g)	Peso con impermeabilizador (g)	Pesos en diferentes tiempos (g)	Peso del mortero antes del horno (g)	Peso después del mortero seco (g)	Peso con impermeabilizador (g)	Pesos en diferentes tiempos (g)
5 min	278,2	236,7	239,4	258,30	276,7	237,1	240,7	259,00
10 min				259,10				262,60
15 min				262,60				263,90
30 min				264,50				265,20
1 h				265,00				267,30
2 h				266,30				269,30
3 h				268,40				270,30
4 h				269,40				272,3
6 h				270,60				273,30
24 h				272,80				274,90
48 h				274,20				275,60
72 h				274,40				275,90

Fuente: Elaboración propia.

Los morteros 4.1 y 4.2 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 275,15 g.

**Mortero 4 (28 días)****Tabla 3.12.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 4 a los 28 días.

<b>Mortero 4.3</b>					<b>Mortero 4.4</b>			
<b>Tiempos de ensayo</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>
5 min	284,7	245,1	246,9	266,30	289,5	251,1	253,9	258,60
10 min				266,70				260,30
15 min				267,40				268,30
30 min				270,10				270,40
1 h				272,90				276,80
2 h				275,40				280,10
3 h				277,30				283,10
4 h				279,60				284,60
6 h				280,50				286,30
24 h				281,60				287,40
48 h				282,30				288,50
72 h				282,60				288,90

**Fuente:** Elaboración propia.

Los morteros 4.3 y 4.4 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 285,75 g.



**Mortero 5x (7 días)****Tabla 3.13.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 5x a los 7 días.

Tiempos de ensayo	Mortero 5x.1				5x.2			
	Peso del mortero antes del horno (g)	Peso después del mortero seco (g)	Peso con impermeabilizador (g)	Pesos en diferentes tiempos (g)	Peso del mortero antes del horno (g)	Peso después del mortero seco (g)	Peso con impermeabilizador (g)	Pesos en diferentes tiempos (g)
5 min	276,9	234,3	237,0	240,60	275,2	233,2	236,1	241,50
10 min				245,70				243,70
15 min				249,70				244,70
30 min				252,30				248,20
1 h				255,60				251,70
2 h				258,70				254,60
3 h				263,60				256,70
4 h				266,50				264,80
6 h				269,40				269,80
24 h				271,30				271,60
48 h				276,10				274,90
72 h				276,70				275,40

Fuente: Elaboración propia

Los morteros 5x.1 y 5x.2 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 276,05 g.

**Mortero 5x (28 días)****Tabla 3.14.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 5x a los 28 días.

<b>Mortero 5x.3</b>					<b>Mortero 5x.4</b>			
<b>Tiempos de ensayo</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>
5 min	284,7	245,1	246,9	266,30	289,5	251,1	253,9	258,60
10 min				266,70				260,30
15 min				267,40				268,30
30 min				270,10				270,40
1 h				272,90				276,80
2 h				275,40				280,10
3 h				277,30				283,10
4 h				279,60				284,60
6 h				280,50				286,30
24 h				281,60				287,40
48 h				282,30				288,50
72 h				282,60				288,90

Fuente: Elaboración propia

Los morteros 5x.3 y 5x.4 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 285,75 g.

**Mortero 5 (7 días)****Tabla 3.15.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 5 a los 7 días.

<b>Mortero 5.1</b>				<b>Mortero 5.2</b>				
<b>Tiempos de ensayo</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>
5 min	275,3	236,3	256,6	257,10	286,5	241,7	250,1	254,90
10 min				260,70				257,30
15 min				264,90				261,40
30 min				265,80				262,70
1 h				266,90				264,70
2 h				268,40				266,20
3 h				270,30				268,30
4 h				271,60				270,30
6 h				273,60				276,90
24 h				274,10				278,40
48 h				274,90				280,20
72 h				275,10				280,40

**Fuente:** Elaboración propia

Los morteros 5.1 y 5.2 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 277,75 g.

**Mortero 5 (28 días)****Tabla 3.16.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 5 a los 28 días.

<b>Mortero 5.3</b>					<b>Mortero 5.4</b>			
<b>Tiempos de ensayo</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>
	296,5	254,1	256,6		292,3	258,5	260,2	
5 min				268,10				268,20
10 min				269,10				270,10
15 min				270,30				272,60
30 min				273,60				274,30
1 h				279,50				276,10
2 h				280,60				279,60
3 h				284,30				282,70
4 h				287,20				281,30
6 h				290,70				284,30
24 h				293,80				286,70
48 h				294,00				290,20
72 h				294,30				290,40

Fuente: Elaboración propia

Los morteros 5.3 y 5.4 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 292,35 g.

**Mortero 6 (7 días)****Tabla 3.17.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 6 a los 7 días.

<b>Mortero 6.1</b>					<b>Mortero 6.2</b>			
<b>Tiempos de ensayo</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>
	280,1	254,1	256,6		275,3	235,5	237,7	
5 min				258,20				238,50
10 min				259,30				240,30
15 min				261,80				243,70
30 min				263,50				247,60
1 h				267,90				254,70
2 h				269,80				256,10
3 h				270,20				260,30
4 h				273,80				265,80
24 h				277,50				273,10
48 h				278,20				273,90
72 h				278,60				274,20

**Fuente:** Elaboración propia

Los morteros 6.1 y 6.2 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 276,4 g.

**Mortero 6 (28 días)****Tabla 3.18.** Resultados del ensayo de absorción en los morteros 6 a los 28 días.

<b>Mortero 6.3</b>					<b>Mortero 6.4</b>			
<b>Tiempos de ensayo</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>	<b>Peso del mortero antes del horno (g)</b>	<b>Peso después del mortero seco (g)</b>	<b>Peso con impermeabilizador (g)</b>	<b>Pesos en diferentes tiempos (g)</b>
5 min	282,1	240,2	243	252,50	286,3	244,7	247,4	254,30
10 min				254,10				257,10
15 min				258,40				260,80
30 min				263,80				264,70
1 h				267,40				265,90
2 h				270,60				271,30
3 h				274,30				276,40
4 h				276,70				281,30
6 h				279,70				282,70
24 h				280,10				283,50
48 h				280,40				283,90
72 h				280,40				284,20

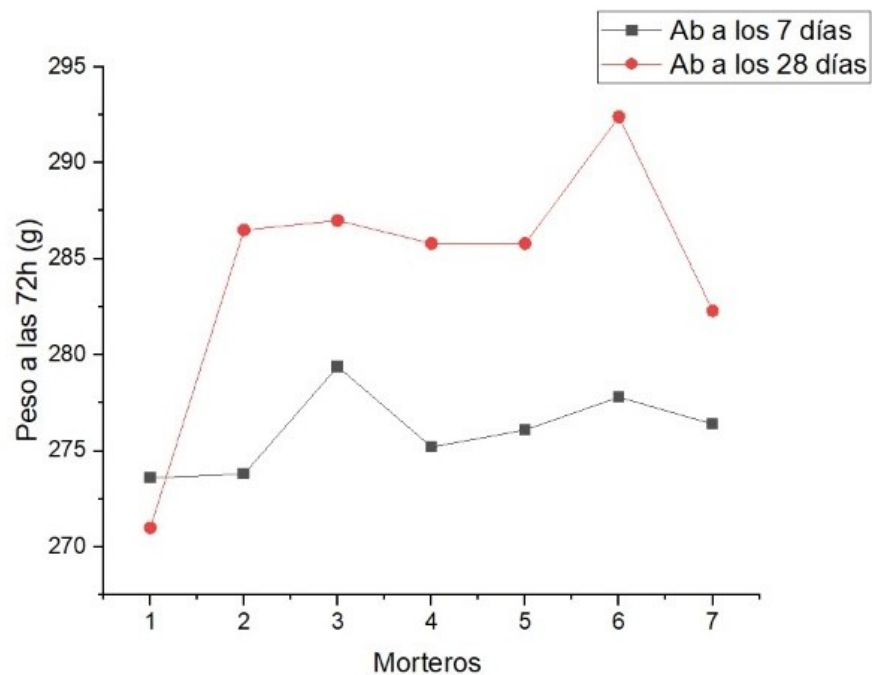
**Fuente:** Elaboración propia.

Los morteros 6.3 y 6.4 al cumplirse 72 horas sumergidos en agua alcanzaron la saturación con un peso promedio de 282,3 g

**Tabla 3.19.** Resumen de los resultados del ensayo de absorción en los morteros a los 7 y 28 días.

Mortero	Absorción a los 7 días (g)	Absorción a los 28 días (g)
1	273,6	271,0
2	273,8	286,5
3	279,4	287,0
4	275,2	285,8
5x	276,1	285,8
5	277,8	292,4
6	276,4	282,3

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.3.** Absorción de agua en morteros después de estar 72h sumergidos en agua.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente gráfica se observó que los morteros a los 7 y 28 días de curado alcanzaron su saturación después de haber sido sumergido en agua durante 72 horas, a

los 7 días se observó que el mortero 3 que corresponde a la mezcla de (60% arena sílice 40% relave minero) fue el más absorbente con un peso promedio de 279.4 g, también se evidenció que el mortero 1 correspondiente a (100% arena sílice) fue el menos absorbente debido a que alcanzó un peso promedio de 273,6 g. A los 28 días se evidencio que le mortero 5 que pertenece al número 6 de la gráfica con (60% arena sílice – 40% relave minero) obtuvo la mayor absorción con un peso promedio de 292,4 g y el que obtuvo la menor absorción fue el mortero 1 el cual se formó con (100% arena sílice) con un peso de 271.0 g. Esto nos demostró que la formulación 100% arena sílice es la menos absorbente a los 7 días como a los 28 días.

### 3.1.3. Coeficiente de absorción de agua por capilaridad

Con los resultados obtenidos en la (tabla 3.19) se calculó el coeficiente de absorción de agua por capilaridad (K), para ello se utilizó las siguientes ecuaciones

$$K = \frac{\delta_a \cdot \varepsilon_e}{10 \cdot \sqrt{m}} \quad (5)$$

$$\varepsilon_e = \frac{Q_n - Q_0}{A \cdot h \cdot \delta_a} \quad (6)$$

$$m = \frac{t_n}{h^2} \quad (7)$$

**Donde:**

**K**= Coeficiente de absorción capilar (kg/cm<sup>2</sup>min<sup>0,5</sup>)

**δ<sub>a</sub>**= Densidad del agua (1 g/cm<sup>3</sup>)

**ε<sub>e</sub>**= Porosidad efectiva del mortero

**m**= Resistencia a la penetración del agua por la absorción capilar (min/cm<sup>2</sup>)

**Q<sub>n</sub>**= Peso del mortero al alcanzar la saturación (g)

**Q<sub>0</sub>**= Peso del mortero antes de empezar el ensayo (g)



**A**= Sección del mortero ( $\text{cm}^2$ )

**h**= Espesor del mortero (cm)

**t<sub>n</sub>**= Tiempo necesario hasta alcanzara la saturación.

Se aplicó la ecuación (5), (6) y (7) obteniendo el coeficiente de absorción, porosidad del mortero y resistencia a la penetración de agua por la absorción a los 7 y 28 días, los resultados se detallaron en la siguiente tabla:

**Tabla 3.20.** Resultados de coeficiente de absorción capilar, porosidad efectiva del mortero y la resistencia a la penetración del agua por la absorción, alas 72h a los 7 días.

<b>Ensayo de absorción de agua en morteros a los 7 días</b>					
<b>Mortero #</b>	<b>Peso del mortero al alcanzar saturación Qn (g)</b>	<b>Peso del mortero antes de empezar el ensayo Qo (g)</b>	<b>Porosidad efectiva del mortero <math>\epsilon</math></b>	<b>Resistencia a la penetración de agua m (min/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Coeficiente de absorción capilar k (kg/cm<sup>2</sup>min<sup>0,5</sup>)</b>
1.1	275,9	247,6	3,77	8,00	0,0139
1.2	270,6	238,7	4,25	8,00	0,0157
2.1	274,9	236,7	5,09	8,00	0,0188
2.2	272,6	245,9	3,56	8,00	0,0131
3.1	281,5	247,6	4,52	8,00	0,0166
3.2	277,2	243,1	4,55	8,00	0,0167
4.1	274,4	236,7	5,03	8,00	0,0185
4.2	275,9	237,1	5,17	8,00	0,0190
5x.1	276,7	234,3	5,65	8,00	0,0208
5x.2	275,4	233,2	5,63	8,00	0,0207
5.1	282,6	245,1	5,00	8,00	0,0184
5.2	288,9	251,1	5,04	8,00	0,0186
6.1	275,1	236,3	5,17	8,00	0,0190
6.2	280,4	241,7	5,16	8,00	0,0190

**Fuente:** Elaboración propia

Para ver los porcentajes de arena y relave minero de los morteros revisar (Tabla 3.1)

Los morteros a los 7 días de curado fueron sometidos a los ensayos de absorción durante 72h que es el tiempo en que llegaron a su saturación, en la (Tabla 3.20) se puede evidenciar que el mortero 2.2 presentó un coeficiente de absorción capilar (K) 0,0131 kg/ cm<sup>2</sup>min<sup>0,5</sup> siendo el menos absorbete, con una absorción media está el mortero 3.2 con un coeficiente de absorción capilar (K) 0,0167 kg/ cm<sup>2</sup>min<sup>0,5</sup> y por

último el mortero 5x.1 con un coeficiente de absorción capilar (K) de 0,0208 kg/cm<sup>2</sup>min<sup>0.5</sup> quedando como el mortero con el coeficiente de absorción capilar más elevado.

**Tabla 3.21.** Resultados de coeficiente de absorción capilar, porosidad efectiva del mortero y la resistencia a la penetración del agua por la absorción, alas 72h a los 28 días.

<b>Ensayo de absorción de agua en morteros a los 28 días</b>					
<b>Mortero #</b>	<b>Peso del mortero al alcanzar saturación Qn (g)</b>	<b>Peso del mortero antes de empezar el ensayo Qo (g)</b>	<b>Porosidad efectiva del mortero <math>\epsilon\epsilon</math></b>	<b>Resistencia a la penetración de agua m (min/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Coeficiente de absorción capilar k (kg/cm<sup>2</sup>min<sup>0.5</sup>)</b>
1.1	275,0	244,8	4,03	8,00	0,0148
1.2	267,4	231,5	4,79	8,00	0,0176
2.1	290,5	260,9	3,95	8,00	0,0145
2.2	282,5	244,4	5,08	8,00	0,0187
3.1	294,6	258,4	4,83	8,00	0,0178
3.2	279,4	248,4	4,13	8,00	0,0152
4.1	282,6	245,1	5,00	8,00	0,0184
4.2	288,9	251,1	5,04	8,00	0,0186
5x.1	282,6	245,1	5,00	8,00	0,0184
5x.2	288,9	251,1	5,04	8,00	0,0186
5.1	294,3	254,1	5,36	8,00	0,0197
5.2	290,4	258,5	4,25	8,00	0,0157
6.1	280,4	240,2	5,36	8,00	0,0197
6.2	284,2	244,7	5,27	8,00	0,0194

**Fuente:** Elaboración propia.

Para ver los porcentajes de arena y relave minero de los morteros revisar (Tabla 3.1).

A los 28 días se evidenció que la mínima absorción se dio por del mortero 2.1 con un coeficiente de absorción capilar (K) de  $0,0145 \text{ kg/ cm}^2\text{min}^{0,5}$ , por otra parte, la absorción intermedia se dio por el mortero 1.2 con un coeficiente de absorción capilar (K) de  $0,0176 \text{ kg/ cm}^2\text{min}^{0,5}$  y por último el mortero 6.1 obtuvo la máxima absorción con su coeficiente de absorción capilar de (K) de  $0,0197 \text{ kg/ cm}^2\text{min}^{0,5}$ .

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Las probetas que fueron elaboradas con el 100% relave minero, fueron las que presentaron las mayores resistencias en el estudio tanto a los 7, 14 y 28 días.
- Las probetas número 7 y 8 elaboradas con un 40% arena con sílice y 60% relave minero, demostraron los mejores resultados en los primeros 7 días de curado.
- La probeta número 8 que posee un 40% arena sílice y 60% relave minero reflejo una resistencia máxima de 11,349 MPa, demostrando ser la muestra más resistente a los 7 días.
- A los 14 días de curado, la probeta número 4 que posee un 80% arena sílice y 20% de relave minero soportó una carga máxima de 10,770 MPa, siendo la probeta más resistente, para el tiempo antes mencionado.
- Después de los 28 días de curado, la probeta número 14 que contiene un 100% de relave minero con una carga máxima de 18,929 MPa reflejó la mayor resistencia de todo el estudio.
- La absorción de los morteros demostró que a los 7 días el mortero 2.2 (80% arena sílice y 20% relave minero), presenta un coeficiente de absorción capilar (K)  $0,0131 \text{ kg/cm}^2\text{min}^{0,5}$  siendo el menos absorbente. Sin embargo, el mortero 5x.1 (20% arena sílice y 80% relave minero) tuvo un coeficiente de absorción capilar (K) de  $0,0208 \text{ kg/cm}^2\text{min}^{0,5}$  quedando como la máxima absorción del estudio, seguido por el mortero 2.1 (20% arena sílice y 80% relave minero) a los 28 días con un coeficiente de absorción capilar mínimo de (k) de  $0,0145 \text{ kg/cm}^2\text{min}^{0,5}$  y por último el mortero 6.1 (0% arena sílice y 100% relave minero) presentó la absorción más alta con un coeficiente de absorción capilar (K) de  $0,0197 \text{ kg/cm}^2\text{min}^{0,5}$ .
- Los morteros que presentan en su formación relave minero, pueden ser utilizados en la construcción de exteriores.
- Los morteros realizados con relave minero generaron una mayor absorción de agua en comparación con los morteros que son creados con 100% arena.

- Las probetas que fueron creadas con el 100% de relave minero después de los 21 días demostraron una mayor resistencia.
- La probeta 1 con 100% arena sílice tuvo una resistencia de 7,745 MPa y la probeta 14 con 100% relave minero soportó 18,929 MPa, demostrando que la presencia de relave aumenta la resistencia de los morteros, siendo factible utilizarlos en la industria de la construcción.

### **Recomendaciones**

- Para la elaboración de morteros se requiere de agua en un porcentaje acorde a la demanda del relave minero, es decir mientras más porcentaje de relave minero se requiera, también aumenta la cantidad de agua.
- Antes de elaborar los morteros, verificar que la mezcla sea homogénea y con los valores adecuados, caso contrario se tendrá problemas con el accionamiento del cemento.
- En la elaboración de los morteros se debe usar guantes de caucho, gafas y mascarilla, por normas de seguridad y para una mejor manipulación de sus componentes.
- El tamaño de las partículas del relave minero debe encontrarse entre el tamaño de partículas del cemento y de la arena a utilizar.
- En el momento del desmolde dar unos pequeños golpes por las 5 caras del molde y tener mucho cuidado debido a que la muestra se suele pegar en las paredes del molde y puede perder su forma, es por ello que se debe utilizar una capa engrasante.
- Se recomienda en el ensayo de absorción, al medir el cambio de masa de los morteros no demorarse más de 30 segundos debido a que al estar expuesto al ambiente se secan de manera rápida lo que ocasionaría datos erróneos.
- Para realizar los bloques se recomienda un molde de plástico o metal, para evitar la contaminación de la muestra y un desmolde más fácil.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angela Nicole. (2022). *Ensayo de compresión no confinada*. [https://www.academia.edu/35274832/COMPRESION\\_SIMPLE\\_docx](https://www.academia.edu/35274832/COMPRESION_SIMPLE_docx): Mecanica de suelos UNITEC.
- Arroyave, N. d. (2015). *Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de la pulpa de café*. Obtenido de [http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1800/1/Extraccion\\_asistida\\_ultrasonido\\_compuestos\\_fenolicos\\_pulpa\\_c.pdf](http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1800/1/Extraccion_asistida_ultrasonido_compuestos_fenolicos_pulpa_c.pdf)
- ASTM C109. (s.f.). *DeepL*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/445967841/ASTM-c109-Metodo-normalizado-resistencia-a-la-compresion-de-morteros-de-cemento-hidraulico-pdf>
- ASTM C1585-04. (s.f.). *Método de ensayo normalizado para medir el ritmo de absorción de agua de los hormigones de cemento hidráulico*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/332177802/Norma-ASTM-C-1585-04-EnEspanol>
- ASTM C566. (s.f.). Obtenido de <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-veracruzana/tecnologia-del-concreto/astm-c-566-97-normas-astm-pdf-en-espanol/10703476>
- ASTM C778. (s.f.). *Especificación para la arena*. Obtenido de <https://www.astm.org/c0778-21.html>
- Avanto. (2009). *Tecnología del concreto*. Lima: San marcos.
- Barron, G. S. (JUNIO de 2016). Obtenido de <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf>
- Blanco, E. A. (2014). *Open Course Ware*. Obtenido de [https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/5.\\_fragmentacion.pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/5._fragmentacion.pdf)
- Bloqueras. (2018). *Bloques de concreto*. Obtenido de <https://bloqueras.org/bloques-concreto/>
- Bulut, G. (2006). *Recovery of copper and cobalt from ancient slag*. Waste Manag.



- Campos, I. (05 de 2017). *Metalurgia*. Obtenido de [https://www.academia.edu/33633900/Flotacion\\_de\\_minerales](https://www.academia.edu/33633900/Flotacion_de_minerales)
- Carles, C. M., & Cano, C. (2006). *Yacimientos Minerales: Los tesoros de la tierra*. Obtenido de [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html)
- Carrillo M, P. B. (2013). Utilization of different aspect associated with cadmium tolerance in plants to compare sensitive and bioindicator species. En *Phytotechnologies: Remediation of Environmental Contaminants* (pág. 595). NY: Taylor and Francis Group.
- Castro, Y., & Pavón, A. (2011). Beneficio minerales 1. 7-12.
- Chamorro, J. E. (2019). Uso de relaves para mejoramiento de suelos por el método compaction grouting. Pasco.
- Chela, D., & Condor, C. (2008). Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/3776/1/UNACH-EC-ING-AMB-2017-0001.pdf>
- cidead. (2017). *recursostic*. Obtenido de [http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales\\_didacticos/EDAD\\_1eso\\_07\\_minerales\\_y\\_rocas/contenido/1q7/pdf/quincena7.pdf](http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/EDAD_1eso_07_minerales_y_rocas/contenido/1q7/pdf/quincena7.pdf)
- Cruz, M. I., Ramirez, R., Ayala, & Flores, G. V. (marzo de 2015). *Revista de especialidades Médico Quirúrgicas*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/473/47345916012.pdf>
- Cruzado, E., & Bravo, F. (2010). Impacto de los relaves mineros en el Perú.
- Ecured. (2012). *Ecured*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Flotaci%C3%B3n>
- Ehlert, E. (24 de 11 de 2016). *Mineral de cobre*. Obtenido de <http://mallorcaesaitambien.blogspot.com/2016/11/mineral-de-cobre.html>
- EL Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina. (19 de 08 de 2013). Obtenido de <https://www.ocmal.org/tag/empresa-portugalia/>
- Emerman, S. (2018). Evaluación del Diseño y de la Construcción de las Presas de Relaves para la Mina Mirador, Zamora Chinchipe, Ecuador.

- Estudios Mineros del Peru. (06 de OCTUBRE de 2011). *ESTUDIOS MINEROS DEL PERU*. Obtenido de [http://www.iestpoyon.edu.pe/web/documentos/Manual\\_de\\_Mineria.pdf](http://www.iestpoyon.edu.pe/web/documentos/Manual_de_Mineria.pdf)
- Glossary, E. (2022). Obtenido de [https://glossary.slb.com/es/terms/u/uniaxial\\_compressive\\_strength](https://glossary.slb.com/es/terms/u/uniaxial_compressive_strength)
- Gonzales, A. O., & Pozo, A. R. (12 de 2015). *Inestabilidad del terreno en zonas urbanas de Zaruma y Portovelo*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/324507378\\_Inestabilidad\\_del\\_terreno\\_en\\_zonas\\_urbanas\\_de\\_Zaruma\\_y\\_Portovelo\\_Ecuador\\_Factores\\_condicionantes\\_y\\_desencadenantes](https://www.researchgate.net/publication/324507378_Inestabilidad_del_terreno_en_zonas_urbanas_de_Zaruma_y_Portovelo_Ecuador_Factores_condicionantes_y_desencadenantes)
- Gonzales, M. F., & Ludeña, K. S. (2007). SCIELO. Obtenido de [https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1843/3/UTPL\\_Espinosa\\_Armijos\\_Mayra\\_Fernanda\\_1049729.pdf](https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1843/3/UTPL_Espinosa_Armijos_Mayra_Fernanda_1049729.pdf)
- Gumpu, B. (2015). A review on detection of heavy metal ions in water – An electrochemical approach. *ELSEVIER*.
- Holcim. (2022). Obtenido de <https://www.holcim.com.ec/>
- Hughes, M. F. (2011). Arsenic Exposure and Toxicology: A Historical Perspective. *OXFORD ACADEMIC*.
- HUGHES, M. F. (2011). Arsenic Exposure and Toxicology: A Historical Perspective. *OXFORD ACADEMIC*.
- Idrogo, E. (2015). *Determinación de la Resistencia a Compresión Diagonal y el Módulo de Cortante de la Mampostería de Bloques Huecos de Concreto Elaborados Artesanalmente en la Ciudad de Cajamarca*. Cajamarca.
- INEN. (07 de 2011). *Instituto Ecuatoriano de normalizacion*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2380.pdf>
- Jaén, U. d. (2021). Obtenido de <https://www.ujaen.es/servicios/scai/recursos/aq01-espectrometro-de-absorcion-atmica>
- La República. (22 de 07 de 2019). Obtenido de <https://larepublica.pe/sociedad/2019/07/22/mineria-huancavelica-miles-de-litros-de-relave-minero-contaminan-el-rio-mantaro-doe-rum-contaminacion-ambiental/>

- Llorens, J. (2007). *Ctta net* . Obtenido de <https://www.ctaa.net/eventosa/form/GEOTECNICO5.pdf>
- Lozano, B. R. (2021). *Campus de Valladolid*. Obtenido de <https://www.laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/espectroscopa-de-absorción-atmica>
- Manual de Residuos Industriales Mineros. (2015). Granulometría en porcentaje de paso de malla.
- Martí, M. A. (2007). *Principios de la Ecotoxicología*. Tebar .
- MEKTA, F. (2011). Mechanisms of cadmium induced genomic instability. *ELSEVIER*.
- Mendez, E. A. (2018). *Estudio de la flotabilidad del carbón en columna de flotación utilizando Salmueras como medio acuoso*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76569/574831.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mettler Toledo . (s.f.). *Determinación del contenido de humedad*. Obtenido de [https://www.mt.com/es/es/home/applications/Laboratory\\_weighing/moisture-content-determination.html](https://www.mt.com/es/es/home/applications/Laboratory_weighing/moisture-content-determination.html)
- Mining . (06 de 01 de 2017). *Mina Mutanda*. Obtenido de <https://www.mining.com/glencore-may-take-full-control-of-mutanda-copper-mine/>
- Mining Mill Operator Training. (2022). Obtenido de <https://millops.community.uaf.edu/amt-135/amt-135-lesson-3/>
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. (1995). Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros.
- Ministerio y Minas del Perú. (1995). Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros.
- Nilton. (06 de 03 de 2018). *PrensaHuaraz*. Obtenido de <https://www.prenshuaraz.com/2017/terrible-mas-de-50-mil-metros-cubicos-de-relave-minero-se-desbordan-en-mina-linkuna-aija/>
- NTP 339.602. (2002). UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso estructural. Lima: INDECOPI.

- NTP 339.604. (2002). Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto. Lima: INDECOPI.
- Páez, M. B. (07 de 2021). *Pachamama.org.ec*. Obtenido de <https://www.pachamama.org.ec/wp-content/uploads/2022/03/relaves.pdf>
- Pincay, W. V., Encarnación, M. E., & Gonzalez, A. P. (05 de 2020). *La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/346570846\\_La\\_contaminacion\\_ambiental\\_ocasionada\\_por\\_la\\_mineria\\_en\\_la\\_provincia\\_de\\_El\\_Oro](https://www.researchgate.net/publication/346570846_La_contaminacion_ambiental_ocasionada_por_la_mineria_en_la_provincia_de_El_Oro)
- Planta de beneficio mineral Goldserviplant. (30 de 07 de 2021). Machala, El Oro, Ecuador.
- PRODEMINCA, U. (2000). Evaluación de distritos mineros en el Ecuador. En U. PRODEMINCA. Quito: Vol 4.
- PUNO, D. (25 de 01 de 2022). *Drechos Humanos y medio ambiente PUNO*. Obtenido de <https://derechoshumanospuno.org.pe/noticias/minera-ciemsa-causa-contaminacion-por-tercera-vez-a-la-cuenca-coata>
- Quimica.es. (2021). *Granulometría*. Obtenido de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Granulometr%C3%ADa.html>
- Rao, G., & Nayak, B. (1992). *Flotation of copper from converter slags*. J. Mine Met. Fuels.
- Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia. (2008). Study of the concrtes compressive strength due to the combined effect of the water-cement radio. *Revista tecnica de la facultad de ingenieria universidad del zulia* .
- Rivva, E. (1992). *Diseño de mezclas*. Lima: Hozlo S.CR.L.
- Rojas, L., & Ventura, L. (2017). Utilización del relave minero para la elaboracion de bloques de concreto tipo ensamble. 40-43.
- Romero, A., & Flores, S. (2010). En R. d. baldosas.
- Romero, A., Flores, S., & Medina, R. (2008). Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa.
- Sacher, W. (marzo de 2011). *GOOGLE ACADEMIC* . Obtenido de <https://www.derechosdelanaturaleza.org.ec/wp-content/uploads/casos/Ecuador/Condor-Mirador/Estudio%20critico%20EIA%20Mirador.pdf>

- Salamanca, R. (2001). La tecnología de los Morteros . *Ciencia y Tecnología Neogranadina* , 9.
- Salazar, J. L. (8 de ENERO de 2016). *BIBDIGITAL*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16442/1/CD-7153.pdf>
- Sernageomin. (2017). Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/Preguntas-frecuentes-sobre-relaves.pdf>
- Silva, S. A. (MARZO de 2016). *GOOGLE ACADEMIC*. Obtenido de <http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/3213/IMyasisa04.pdf>
- Simbaña, D. C., & Condor, C. (2017). *GOOGLE ACADEMIC*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/3776/1/UNACH-EC-ING-AMB-2017-0001.pdf>
- Teijlingen, K. v. (2019). Los depositos de relaves en Ecuador y sus riesgos socio-ambientales.
- Tenelema, D. A., & Tenelema, D. A. (2017). *UNACH.EC*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/3776/1/UNACH-EC-ING-AMB-2017-0001.pdf>
- Tovar, T. H., & Fernandez., M. (mayo de 2012). *SCIELO*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n3/v28n3a3.pdf>
- UNE 83982. (07 de 2008). Norma española. Madrid: AENOR 2008. Obtenido de Determinación de la absorción de agua por capilaridad del hormigon endurecido.
- Valdemarre, G. S. (OCTUBRE de 2018). *HOLOS*. Obtenido de <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/7118/pdf>
- VSIP. (s.f.). *TOTAL EVAPORABLE MOISTURE CONTENT OF AGGREGATE BY DRYING*. Obtenido de <https://vsip.info/c566-pdf-free.html>

**ANEXOS**





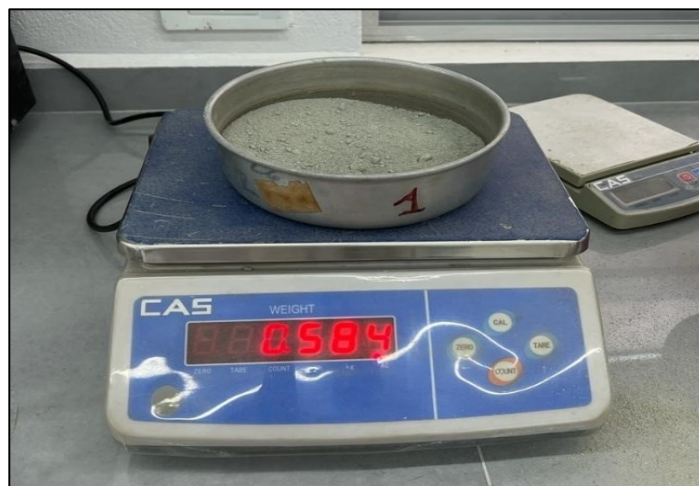
**Anexo 1.** Planta de beneficio GOLDSERVIPLANT



**Anexo 2.** Recolección del cobre después del proceso de flotación





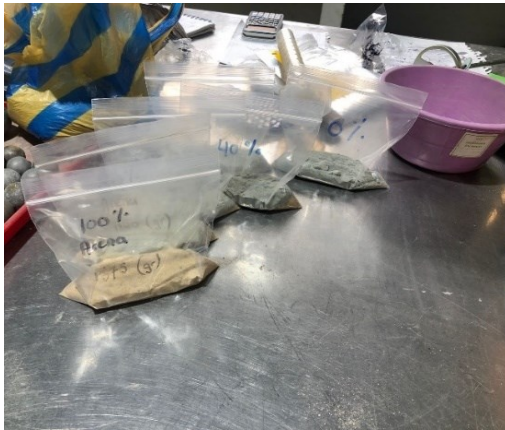


Anexo 3. Ensayo de humedad

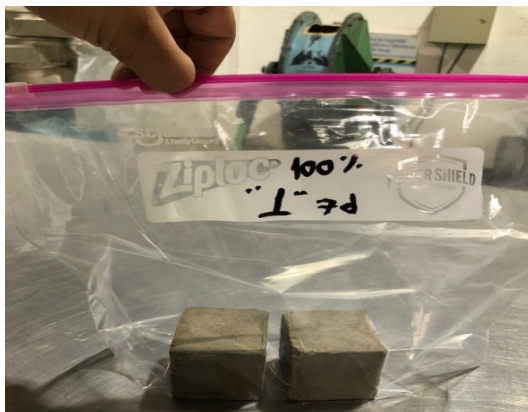


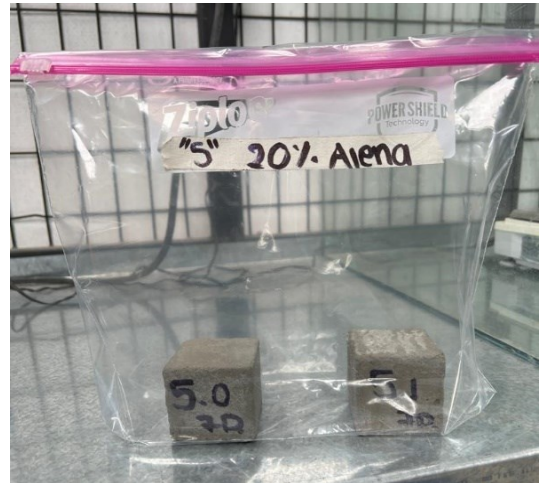
**Anexo 4.** Granulometría del material





Anexo 5. Producción de morteros





Anexo 6. Probetas antes de su rotura



Anexo 7. Rotura probetas muestra #1



Anexo 8. Rotura probetas muestra #2



Anexo 9. Rotura probetas de muestra #3





Anexo 10. Rotura probeta de muestra #4

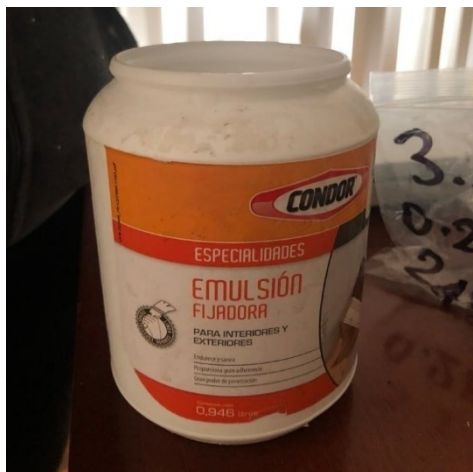


Anexo 11. Rotura probeta de muestra #5





Anexo 12. Probetas curadas



Anexo 13. Ensayo de absorción

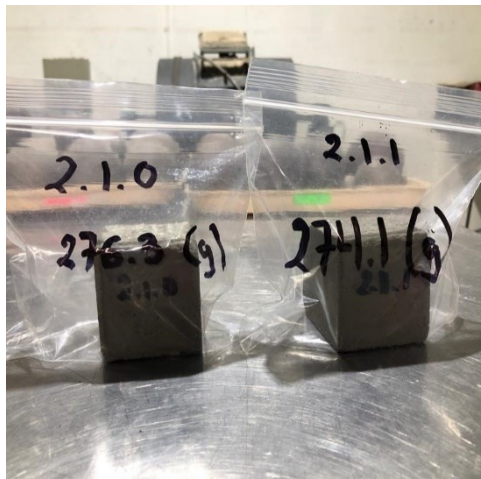


Anexo 14. Morteros en absorción



Anexo 15. Pesos para absorción de morteros de la mezcla # 1





Anexo 16. Pesos para absorción de morteros de la mezcla # 2



Anexo 17. Pesos para absorción de morteros de la mezcla # 3



Anexo 18. Pesos para absorción de morteros de la mezcla # 4



Anexo 19. Pesos para absorción de morteros de la mezcla # 5



Anexo 20. Pesos para absorción de morteros de la mezcla # 6