



*Fabricación de bloques de cemento utilizando como parte de los áridos relevantes mineros tratados con floculantes que generan las plantas de beneficio Goldmins de Zaruma – Portovelo*

*Manufacture of cement blocks using, as part of the relevant mining aggregates, treated with flocculants generated by the Goldmins processing plants in Zaruma – Portovelo*

*Fabrico de blocos de cimento utilizando, como parte dos agregados mineiros relevantes, tratados com floculantes gerados pelas fábricas de processamento da Goldmins em Zaruma – Portovelo*

Jonathan Alexis López Zapata <sup>I</sup>  
[jonathan.lopezz@esPOCH.edu.ec](mailto:jonathan.lopezz@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0004-0426-1248>

Segundo Hugo Calderón <sup>II</sup>  
[hcalderon@esPOCH.edu.ec](mailto:hcalderon@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-9129-7676>

Mónica Lilián Andrade Avalos <sup>III</sup>  
[moandrade@esPOCH.edu.ec](mailto:moandrade@esPOCH.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-5736-5607>

**Correspondencia:** [jonathan.lopezz@esPOCH.edu.ec](mailto:jonathan.lopezz@esPOCH.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 13 de mayo de 2025 \* **Aceptado:** 06 de junio de 2025 \* **Publicado:** 02 de julio de 2025

- I. Investigador Independiente, Ecuador.
- II. Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- III. Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.

## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo fabricar bloques de cemento utilizando como parte de los áridos relaves mineros tratados con floculantes que generan las plantas de beneficio GOLDMINS de Zaruma – Portovelo. Se planteó la hipótesis de sustituir la utilización como parte de los áridos, relaves mineros tratados con floculantes, donde se obtendrán bloques de cemento que cumplan con la resistencia mínima a la compresión descrita en la Norma Técnica NTE INEN 3066, 2016 – 11 Bloques de Hormigón. El tipo de estudio aplicado en el trabajo de investigación fue de campo con un diseño experimental y se utilizó el método estadístico anova para la recolección de datos, en una población de 20 bloques de cemento con diferentes porcentajes de relave minero (0%, 5%, 10%, 15% y 20%). Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia para ensayar cada uno de los bloques, que luego de realizar la prueba a la compresión en la máquina universal del Laboratorio de Resistencia de Materiales en la Facultad de Mecánica, se obtuvo que los bloques fabricados a 7 días que superaron la resistencia mínima de 0,9 MPa fueron: el bloque estándar con 1,61 MPa; 5% de relave con 1,30 MPa y 10% de relave con 1,29 MPa. Los bloques fabricados a 14 días que superaron la resistencia mínima de 1,26 MPa, fueron: el bloque estándar con 2,23 MPa, al 5% de relave con 1,55 MPa y al 10% con 1,33 MPa. Realizado el análisis estadístico con la comparación de las medias de Tukey y Fisher de los tratamientos en el software Minitab 19 se concluyó que 2 de los tratamientos fueron diferentes a los demás por lo que se aceptó la hipótesis alternativa. Además de concluir que, a mayor tiempo de curado de los bloques, las concentraciones de Pb del relave disminuyeron.

**Palabras clave:** relave minero; áridos; dosificación; bloques de hormigón; resistencia a la compresión; digestión ácida; concentración de pb.

## Abstract

The present research work aims to manufacture cement blocks using flocculant-treated mining tailings generated by the GOLDMINS processing plants in Zaruma - Portovelo as part of the aggregates. The hypothesis was to replace the use of flocculant-treated mining tailings as part of the aggregates, where cement blocks will be obtained that comply with the minimum compressive strength described in the Technical Standard NTE INEN 3066, 2016 - 11 Concrete Blocks. The type of study applied in the research work was field with an experimental design and the ANOVA statistical method was used for data collection, in a population of 20 cement blocks with different

percentages of mining tailings (0%, 5%, 10%, 15% and 20%). A non-probability convenience sampling was performed to test each of the blocks, which after performing the compression test in the universal machine of the Materials Strength Laboratory at the Faculty of Mechanics, it was obtained that the blocks manufactured at 7 days that exceeded the minimum strength of 0.9 MPa were: the standard block with 1.61 MPa; 5% tailings with 1.30 MPa and 10% tailings with 1.29 MPa. The blocks manufactured at 14 days that exceeded the minimum strength of 1.26 MPa were: the standard block with 2.23 MPa, 5% tailings with 1.55 MPa and 10% with 1.33 MPa. After performing the statistical analysis with the comparison of the Tukey and Fisher means of the treatments in the Minitab 19 software, it was concluded that 2 of the treatments were different from the others, so the alternative hypothesis was accepted. In addition, they concluded that the longer the blocks were cured, the lower the Pb concentrations in the tailings.

**Keywords:** mine tailings; aggregates; dosage; concrete blocks; compressive strength; acid digestion; Pb concentration

## Resumo

O presente trabalho de investigação tem como objetivo fabricar blocos de cimento utilizando resíduos de mineração tratados com floculantes gerados pelas fábricas de processamento da GOLDMINS em Zaruma - Portovelo como parte dos agregados. A hipótese foi substituir a utilização de resíduos de mineração tratados com floculantes como parte dos agregados, onde serão obtidos blocos de cimento que cumprem a resistência à compressão mínima descrita na Norma Técnica NTE INEN 3066, 2016 - 11 Blocos de Betão. O tipo de estudo aplicado no trabalho de investigação foi de campo com desenho experimental e foi utilizado o método estatístico ANOVA para a recolha de dados, numa população de 20 blocos de cimento com diferentes percentagens de resíduos de mineração (0%, 5%, 10%, 15% e 20%). Foi realizada uma amostragem não probabilística por conveniência para testar cada um dos blocos, que após a realização do ensaio de compressão na máquina universal do Laboratório de Resistência de Materiais da Faculdade de Mecânica, obteve-se que os blocos fabricados aos 7 dias que ultrapassaram a resistência mínima de 0,9 MPa foram: o bloco padrão com 1,61 MPa; 5% de rejeito com 1,30 MPa e 10% de rejeito com 1,29 MPa. Os blocos fabricados aos 14 dias que ultrapassaram a resistência mínima de 1,26 MPa foram: o bloco standard com 2,23 MPa, 5% de rejeito com 1,55 MPa e 10% com 1,33 MPa. Após a realização da análise estatística com a comparação das médias de Tukey e Fisher dos

tratamientos no software Minitab 19, concluiu-se que 2 dos tratamientos eram diferentes dos restantes, pelo que a hipótese alternativa foi aceite. Além disso, concluíram que quanto maior o tempo de cura dos blocos, menores as concentrações de Pb nos resíduos.

**Palavras-chave:** resíduos de mineração; agregados; dosagem; blocos de betão; resistência à compressão; digestão ácida; concentração de Pb

## Introducción

El incremento exponencial que ha demostrado el consumo de metales en el mundo durante el último siglo ha promovido, por un lado, la reducción de las leyes de los yacimientos primarios que se explotan, y por el otro, el incremento de los volúmenes de desechos mineros que se generan Cordero et al. (2022).

La acumulación de desechos mineros supone riesgos de contaminación ambiental, a partir de la generación de drenajes ácidos, infiltraciones de soluciones hacia el suelo y aguas naturales, transporte eólico de material particulado, entre otros (Cordero, Marchevsky, Chiacchiarini, & Giaveno, 2022). La generación de grandes volúmenes de relaves como residuos mineros, y la búsqueda de alternativas para su gestión técnica, ambiental y económica, incentiva a la investigación de posibles usos de este material como materia prima Enríquez et al., (2022 pags. 34-41). La industria minera se enfrenta a un gran reto con la gestión de los residuos, en general los relaves mineros, debido a su potencial contaminante. Entre los estudios realizados sobresale la reutilización de relaves mineros como agregados en materiales de construcción (Fernando et al., 2021) La presente investigación tiene como objetivo principal el encontrar una solución al problema de la contaminación que surge al tener grandes depósitos de relaves mineros, los cuales son tóxicos y dañinos para la flora y fauna cercana. Los relaves mineros representan una fuente potencial de áridos para la fabricación de materiales de construcción. Mediante el tratamiento de los relaves con floculantes, es posible hacer que sean aptos para la producción de bloques de cemento, el proyecto tiene como fin evaluar la factibilidad técnica de la alternativa para contribuir a la reducción del consumo de recursos naturales y a la disminución del impacto ambiental en la industria de la construcción.

Para ello, se llevará a cabo un estudio de tipo experimental que consiste en la construcción de bloques de cemento con diferentes porcentajes de relave minero y se evaluarán las propiedades mecánicas, físicas y químicas de estos.

## Marco metodológico

### Enfoque de investigación

En este proyecto se dispuso un enfoque cuantitativo, donde los resultados de las diferentes variables fueron analizados y comparados mediante métodos estadísticos, con datos medibles que presentan las normativas de resistencia a la compresión de los bloques.

### Alcance de investigación

Tuvo un alcance de tipo aplicado y exploratorio, puesto que se centró en resolver la problemática que generan los relaves mineros, reduciendo el impacto ambiental por sustancias tóxicas que van al suelo y fuentes hídricas, además de explorar nuevas formas de reutilizar los relaves mineros como parte de los agregados para la fabricación de bloques de cemento.

### Diseño de investigación

El diseño fue de tipo experimental, por ende, se basó en la agregación de diferentes porcentajes de relaves mineros extraídos de la planta de beneficio GOLDMINS de Portovelo. El agua que intervino en la mezcla tenía inexistencias de aditivos o cloratos y se la recolectó de los pozos de las instalaciones de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Además de otros agregados como: chasqui proveniente de un lugar llamado “Cerro Chasqui” que se encuentra en las faldas del volcán Cotopaxi; el macadán obtenido de la trituración de rocas volcánicas de minas de las montañas ubicadas desde Latacunga hasta Pujilí; la arena que proviene de diferentes lugares como playas, canteras o de la trituración de rocas y el cemento Chimborazo que al ser mezclado con los agregados finos, gruesos y el agua produjo una reacción química en que la mezcla fragua y se endurece (Villacis et al., 2020). La investigación tuvo como fin determinar la resistencia a la compresión de los bloques huecos de cemento con los requisitos dispuestos en la norma NTE INEN 3066,2016 – 11 Bloques de Hormigón y en la concentración de Pb, teniendo en cuenta que el plomo es peligroso para la salud cuando se encuentra presente en el cuerpo humano en una concentración mayor a 5 µg/dL, según (Enriquez & Jurado, 2023).

Tabla 2.3: Variable diseñada para el estándar de relaves mineros

Resistencia a diferentes edades	Tratamientos				
	B1 (0%)	B2 (5%)	B3 (10%)	B4B (15%)	B5 (20%)
E1	12,87	10,43	10,28	4,88	3,90

E2	17,85	12,37	9,42	8,04	4,41
----	-------	-------	------	------	------

*Fuente: (López, J., 2025)*

Donde:

E<sub>1, 2</sub>: Resistencia a la compresión a diferentes edades (7 y 14 días)

B<sub>1, 2, 3, 4, 5</sub>: Bloques de cemento con diferentes porcentajes de relaves mineros (0, 5, 10, 15, 20 %)

Según la manipulación o no de la variable independiente

### **Variables independientes**

Porcentaje de relaves mineros que intervienen en el diseño de la mezcla de concreto para la fabricación de bloques de cemento.

### **Variables dependientes**

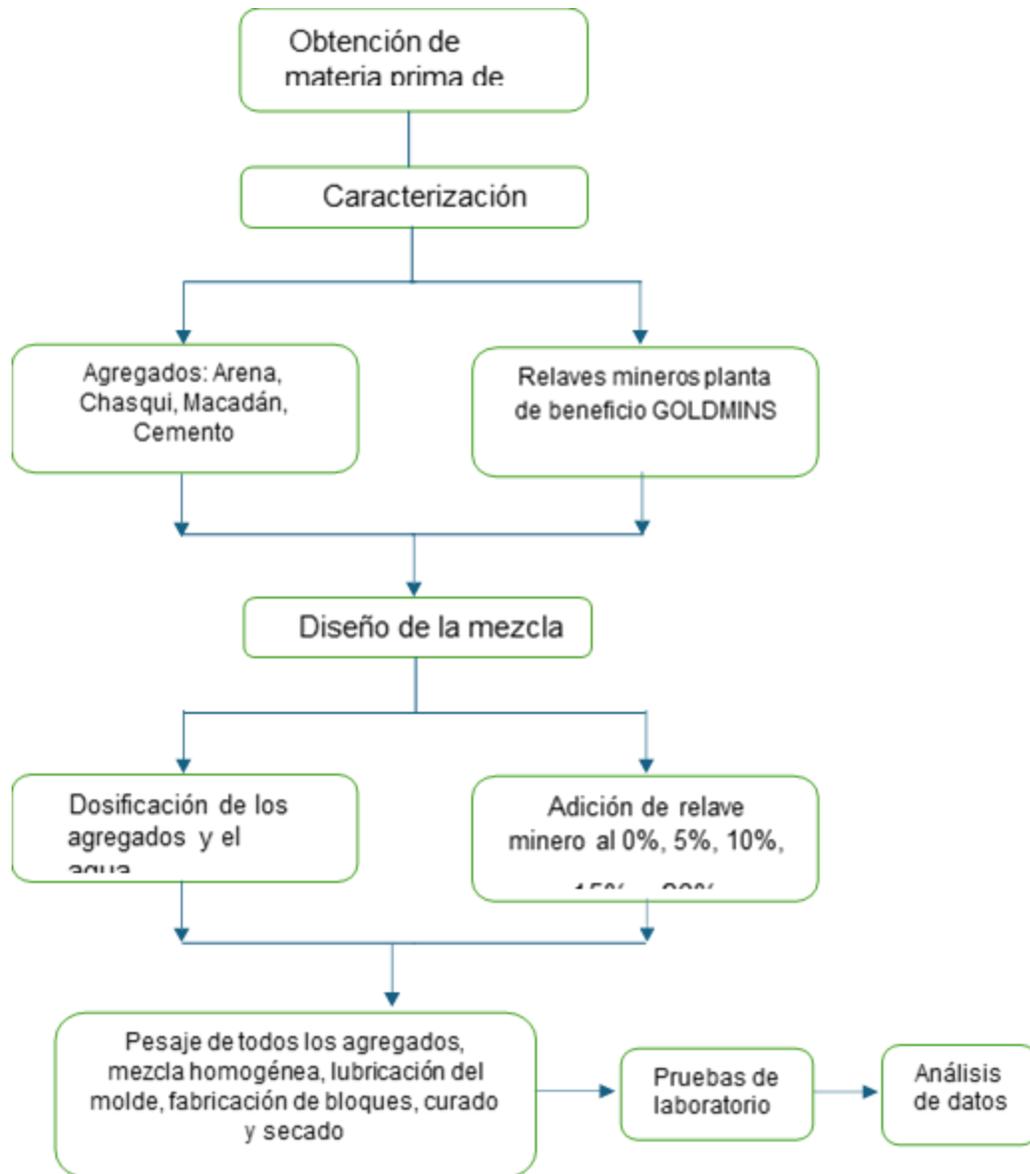
- El valor de resistencia a la compresión que deberían soportar los bloques de cemento con relaves mineros según la norma NTE INEN 3066.2016-11 Bloques de Hormigón.
- Concentración de plomo presente en los bloques de cemento fabricados con relaves mineros de la planta de beneficio GOLDMINS.

### **Tipo de estudio**

El tipo de estudio que requirió la investigación fue de campo, donde se aplicó métodos experimentales para llevar a cabo. La información se recopiló a través de la observación y posterior manipulación y caracterización de los relaves mineros con el fin de conocer el porcentaje con el que pueden sustituir a los áridos en la fabricación de bloques huecos.

## Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

### Procedimientos para la recolección de datos



Para conocer la dosificación de la mezcla, primero se realizó las pruebas de caracterización de los agregados: arena, chasqui, macadán, agua y relave minero. Los ensayos de los agregados se efectuaron en el Laboratorio de Química Analítica y en el Laboratorio de Suelos en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## **Población de estudio y planificación**

La población de estudio fueron 20 bloques huecos de cemento fabricados en el Laboratorio de Mineralogía y Metalurgia de la Facultad de Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con diferentes porcentajes de relave minero (0%, 5%, 10%, 15% y 20%), donde se realizó una comparación entre las resistencias a la compresión que obtuvo cada bloque con lo mencionado en la Norma NTE INEN 3066 – 11 Bloques de Hormigón.

## **Selección de la muestra**

Para la selección de la muestra de los bloques huecos, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia para poder ensayar a cada uno de los bloques fabricados a diferentes porcentajes de relave minero, siguiendo las pruebas descritas en la Norma NTE INEN 3066 – 11 Bloques de Hormigón.

## **Tamaño de la muestra**

En esta investigación el tamaño de la muestra se representó con 5 combinaciones de la dosificación para la fabricación de bloques huecos, realizando 4 bloques al día durante 5 días hasta completar el total de la muestra de 20 bloques huecos.

## **Desarrollo**

### **Granulometría**

Es la separación de las partículas que conforman cada uno de los agregados en los diferentes tamaños, en una torre de tamices de diferente diámetro de abertura manera manual o con la ayuda de un equipo (Ensamblables et al., 2020).

### **Procedimiento:**

- Para la granulometría se replicó el procedimiento descrito en la Norma Técnica INEN 696: 2011 Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso. Se pesó en una bandeja de aluminio 300 gramos de la muestra de los agregados que se usó en el proceso.
- Se armó la torre de tamices en secuencia al tamaño de abertura de malla y se colocó encima del agitador de tamices donde fue asegurado.
- Se colocó 300 gramos de la muestra de cada agregado en la parte superior de los tamices y se tapó para encender el agitador de tamices por 5 minutos.
- Pasado el tiempo de agitación se apagó el agitador y se pesó la masa de muestra retenida de los agregados en cada tamiz teniendo en cuenta el peso del mismo.

- Se anotó los pesos retenidos en cada tamiz para realizar la curva granulométrica de los agregados.
- Se limpió con una brocha de cerdas suaves cada tamiz y en especial la malla donde quedan retenidos para repetir el proceso de granulometría.

### **Textura**

La composición sólida de los agregados posee diferentes tamaños de sus partículas por lo que la prueba de textura los clasificó dependiendo de su tamaño como: arenas a las partículas más gruesas, limos a las de tamaño mediano y arcillas a las partículas más pequeñas (Rojas & Ventura, 2017).

Procedimiento:

- Primero se tomó la muestra de los agregados (arena, chasqui, macadán y relave minero), y se los pasó por un tamiz de 2 mm de diámetro hasta conseguir un peso de 50 gramos de muestra ya tamizada y se pasó al vaso de la batidora.
- Se preparó la solución dispersante con: 7,94 g de carbonato sódico  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 35,70 g de hexametáfosfato de sodio  $(\text{NaPO}_3)_6$  y 250 ml de agua destilada.
- Se añadió 10 ml de la solución dispersante a la muestra a analizar y se agregó agua destilada hasta llenar las  $\frac{3}{4}$  partes del vaso de la batidora.
- Se mezcló por 5 minutos exactos, luego la mezcla se trasvasó a una probeta de 1 L y se aforó con agua destilada, con la ayuda de un cronómetro y una varilla de agitación, se agitó la mezcla por 1 minuto y se dejó reposar por 40 segundos para introducir el termómetro y el densímetro dentro de la solución y tomar las primeras lecturas.
- Se dejó reposar por 2 horas y se volvió a tomar las lecturas finales de la solución que reflejó en el termómetro y el densímetro.
- Con ayuda del triángulo textural y sus fórmulas se encontró el tipo de texturas que poseen los agregados de construcción y en qué porcentaje.

### **Potencial de hidrogeno (pH)**

El pH ayuda a determinar el grado de alcalinidad, acidez o de estado neutro que poseen las muestras a analizar. La escala tiene valores que van del 0 (valor más ácido), al 14 (valor más básico), mientras que un valor de pH de 7 es neutro (“PH - Concepto, Escala de Medidas, Cómo Se Mide y Ejemplos,” n.d.).

### **Procedimiento:**

- En un vidrio reloj y con ayuda de una balanza analítica se pesó 10 gramos de la muestra para ser llevado a un Erlenmeyer.
- Con una pipeta volumétrica y una pera de succión se introdujo 25 ml de agua destilada al Erlenmeyer.
- Se llevó la muestra al Shaker para la agitación que duró 1 hora, una vez transcurrido el tiempo la solución se trasvasó a un vaso de precipitación y se dejó reposar hasta que la muestra se sedimentó en el fondo del vaso por medio de la gravedad.
- Una vez la muestra esté sedimentada, se verificó que el pH metro esté calibrado mediante los buffers 4, 7 y 10 y se midió con el electrodo la lectura del pH de las soluciones.

### **Conductividad eléctrica (CE)**

Determina la cantidad de conductividad eléctrica que poseen los agregados, este ensayo es realizado en un medio líquido donde la temperatura está relacionada, siendo recomendado realizarlo a una temperatura ambiente (Guaypacha, 2024).

### **Procedimiento:**

- En un vidrio reloj y una balanza analítica se pesó 10 gramos de la muestra seca donde se llevó a un matraz Erlenmeyer.
- Con ayuda de una pipeta volumétrica y una pera de succión se introdujo 50 ml de agua destilada al Erlenmeyer.
- Se llevó la solución al Shaker y se dejó en agitación durante 1 hora.
- Una vez transcurrido el tiempo la solución fue trasvasada a un vaso de precipitación y se dejó reposar hasta que la muestra se sedimentó en el fondo del vaso por medio de la gravedad.
- Una vez la muestra sedimentó, se limpió el electrodo del conductímetro con agua destilada para dar lectura a la cantidad de corriente eléctrica que la solución puede transmitir en ( $\mu S/cm$ ).

### **Dosificación**

La dosificación consistió en el pesaje de cada agregado que intervino en la mezcla donde se utilizó una báscula de alta precisión y baldes plásticos. Como se muestra en la tabla 3 – 2, la dosificación varió conforme a la cantidad de relave minero que intervino en la mezcla por lo que el peso de los demás agregados no fue el mismo para ningún tratamiento en la mezcla (Adrián et al., 2018).

Tabla 3.5: Dosificación de las mezclas con relave minero

	Agregados de construcción	Peso de los agregados (Kg)	Porcentaje de los agregados en la mezcla %
MEZCLA BLOQUE ESTÁNDAR - 0% RELAVE	Arena	2,42	20 %
	Cemento	1,25	10,33 %
	Agua	2,44	20,17 %
	Chasqui	3,29	27,19 %
	Macadán	2,70	22,31 %
	<b>TOTAL</b>	<b>12,1</b>	<b>100 %</b>
MEZCLA BLOQUE - 5% RELAVE	Arena	2,30	19,00 %
	Cemento	1,13	9,34 %
	Agua	2,32	19,17 %
	Chasqui	3,17	26,18%
	Macadán	2,58	21,31 %
	Relave minero	0,6	5 %
	<b>TOTAL</b>	<b>12,1</b>	<b>100 %</b>
MEZCLA BLOQUE - 10% RELAVE	Arena	2,18	18,00 %
	Cemento	1,01	8,33 %
	Agua	2,20	18,14 %
	Chasqui	3,05	25,20 %
	Macadán	2,46	20,33 %
	Relave minero	1,21	10 %
	<b>TOTAL</b>	<b>12,1</b>	<b>100 %</b>
MEZCLA BLOQUE - 15% RELAVE	Arena	2,06	17,02 %
	Cemento	0,89	7,33 %
	Agua	2,06	17,15 %
	Chasqui	2,90	24,20 %
	Macadán	2,30	19,30 %
	Relave minero	1,81	15 %
	<b>TOTAL</b>	<b>12,1</b>	<b>100</b>
	Arena	1,94	16 %
	Cemento	0,79	6,35 %

MEZCLA BLOQUE – 20% RELAVE	Agua	1,96	16,17 %
	Chasqui	2,81	23,17 %
	Macadán	2,22	18,31 %
	Relave minero	2,42	20%
	<b>TOTAL</b>	<b>12,1</b>	<b>100</b>

*Realizado por: (López, J., 2025)*

### **Fabricación de bloques de cemento a diferentes porcentajes de relave minero**

La fabricación de los bloques huecos de cemento se llevó a cabo afuera del Laboratorio de Mineralogía y Metalurgia de la Facultad de Ciencias, donde los bloques fabricados debían tener una compactación dentro del molde sin que se adhieran a este utilizando aceite quemado de vehículos, cohesión de estado fresco para un fácil desmoldado del bloque y un proceso de curado que consiste en el fraguado del bloque y secado dentro de un plástico negro a una temperatura promedio de 20 °C.

*Ilustración 3.6: Fabricación de bloques de cemento a diferentes porcentajes de relave Minero*



*Fuente: López, J. (2025)*

### **Procedimiento:**

- Se pesó cada uno de los agregados según la dosificación mencionada con anterioridad y se mezcló uno por uno hasta conseguir una mezcla seca homogénea.

- Se humedeció los agregados con agua mientras se mezclaba con la pala poco a poco hasta tener una mezcla moldeable y que se adapte a la forma del molde.
- El molde de madera de los bloques huecos fue lubricado con aceite quemado de carro con la finalidad de que la mezcla no quede impregnada en el molde.
- Teniendo la mezcla húmeda, con una pala más pequeña se introdujo la mezcla al molde y con ayuda de un palo se hizo presión para evitar burbujas de aire en la mezcla ya que eso le ocasiona porosidad al bloque y lo hace más frágil.
- Se repitió el proceso hasta llenar el molde por completo y al final con ayuda de un bailejo, se le dio forma plana en la parte posterior de los bloques huecos.
- Pasados unos 15 minutos se dio golpes con un palo alrededor del molde simulando el proceso de vibración que tienen los bloques para desmoldar y se colocaron los bloques encima del plástico negro boca arriba para retirar los cajones que dieron forma a los huecos del bloque.
- Fabricado los bloques se remojaron 2 veces al día para el proceso de curado, donde los bloques una vez humedecidos (fraguado) fueron tapados con un plástico negro ya que en el interior se dio el proceso de secado a una temperatura promedio de 20 °C.
- Se repitió este proceso durante las diferentes edades a los que fueron fabricados los bloques, hasta completar el proceso de curado para ser llevado a la máquina de compresión para medir la resistencia que obtuvo cada bloque.

## Análisis e interpretación de resultados

### Caracterización física de los agregados

La caracterización de los materiales que intervinieron en la mezcla para la elaboración de los bloques permitió realizar diferentes pruebas por duplicado como: densidad aparente, densidad real, pH, conductividad eléctrica y humedad. Las pruebas se detallan en Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Caracterización física de los agregados de construcción

Materia	Densidad Aparente	Norma UNE	Densidad Real	Norma NTE	pH	Norma NTP 339.17	Conductividad Eléctrica	Norma ISO 11265:1	Humedad	Norma NTC 1776:2
---------	-------------------	-----------	---------------	-----------	----	------------------	-------------------------	-------------------	---------	------------------

Prima	nt	7732	(g/ml	INE	6	(μS/cm)	99	(%)	01	
	e	7	)	N			4		9	
	(g/cm <sup>3</sup> )	: 2003		856, 2010						
Agua	-----	-----	-----	-----	7,3 5	6,5 - 7,5	996	2500	-----	-----
Arena	1,37	1,65	2,24	2,54	8,3	6,5 - 7,5	85,65	< 1.000	0,63	2,0
Chasqui	0,73	1,5	1,8	2,6	7,2	6,5 - 7,5	48,4	< 1.000	1,98	0,5 - 3,0
Ma cad án	0,82	1,5	1,68	2,6	8,2 5	6,5 - 7,5	189	< 1.000	0,48	2,0
Relav e Miner o	1,52	1,5	2,5	2,5	6	6,5 - 7,5	882	< 1.000	1,45	2,0

Realizado por: (López, J., 2025)

Los análisis físicos especificados en la tabla anterior se llevaron a cabo en el Laboratorio de Química Analítica en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Para la densidad aparente los valores cercanos a lo que especifica la Norma UNE 77327:2003 fue el relave minero y la arena con (1,37 g/cm<sup>3</sup>) y (1,52 g/cm<sup>3</sup>), mientras que el chasqui y el macadán obtuvieron valores por debajo de lo descrito en la Norma con (0,73 g/cm<sup>3</sup>) y (0,82 g/cm<sup>3</sup>). Para la densidad real se trabajó con la Norma NTE INEN 856, 2010; donde el relave obtuvo el mismo valor de la Norma con (2,5 g/ml) y la arena llegó a un valor cercano con (2,24 g/ml). Por el contrario, el chasqui y macadán obtuvieron valores menores a lo que describe la Norma, con (1,8 g/ml) y (1,68 g/ml). Para el pH se utilizó la Norma NTP 339.176, donde el rango descrito fue de (6,5 – 7,5) y los agregados que superaron este rango fueron la arena con (8,3) y el macadán con (8,25), lo que indica que según la escala de pH se encuentran en medio básico. Los que se encuentran dentro del rango descrito por la Norma fueron el chasqui (7,2) y el agua (7,35). El relave minero obtuvo un valor de (6) y según la escala de pH se encuentra en un medio ácido. Con respecto

a conductividad eléctrica, el agua obtuvo un valor menor a lo descrito en la Norma para agua potable, pero el agua utilizada fue de un pozo, que no contiene una gran cantidad de sales minerales y por ende su conductividad fue de (996  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Por otra parte, la conductividad de los agregados de construcción fue menor a lo descrito en la Norma para suelos, lo que indicó que los agregados no contienen gran cantidad de sales por lo que no son buenos conductores de la electricidad. El relave minero obtuvo una conductividad de (882  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), debido a que el relave contenía pequeños residuos de metales en el proceso de extracción de oro en la planta de beneficio GOLDMINS, de Zaruma –Portovelo. En la humedad se trabajó con la Norma NTC 1776:2019, donde el porcentaje de humedad varía según el tamaño del agregado. El chasqui fue el único agregado con porcentaje de humedad dentro del rango establecido por la Norma con (1,98 %), mientras que la arena y el macadán obtuvieron valores menores a la Norma, la arena (0,63 %), el macadán (0,48). El relave minero obtuvo un valor cercano a lo descrito en la Norma con (1,45 %) de humedad contenida. Las pruebas que se realizaron a los agregados que intervienen en la mezcla, se clasificaron de acuerdo a la textura americana. El triángulo textural del departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA), se usó como una herramienta gráfica para determinar la categoría a la que pertenecieron los agregados.

Tabla 4.1.2: Textura de los agregados de construcción

Materia prima	Textura			
	% Limo	% Arcilla	% Arenas	Textura
Arena	0,03	19,98	79,99	Arenoso Franco
Chasqui	0,01	19,97	80,00	Arenoso Franco
Macadán	8,58	20,00	71,42	Arenoso Franco
Relave Minero	22,50	12,30	65,19	Franco Arenoso

Realizado por: (López, J., 2025)

Se obtuvo una textura arenoso franco en la arena; con valores de limo de (0.03%), arcilla (19.98%) y arenas de (79.99%). Para el chasqui dio una textura arenoso franco con; limo (0.01%), arcilla (19.97%) y arenas (80%). En el macadán se obtuvo una textura arenoso franco con; limo (8.58%), arcillas (20%) y arenas (71.42%). Para el caso del macadán resultó ser una textura franco arenoso con; limo (22.50%), arcilla (12.30%) y arenas (65.19%). El relave minero presentó una textura

franco-arenosa que ayudó a la retención de agua en el proceso de curado, mientras que los demás agregados presentaron una textura arenoso franco con lo que se facilitó dar la forma requerida al bloque.

### Granulometría de los agregados

Se analizó la granulometría de los agregados siguiendo lo descrito en la Norma Técnica NTE INEN 696:2011 Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso. En la prueba se determinó la distribución granulométrica que obtuvo el cemento como uno de los agregados en la dosificación como se explica en la siguiente tabla.

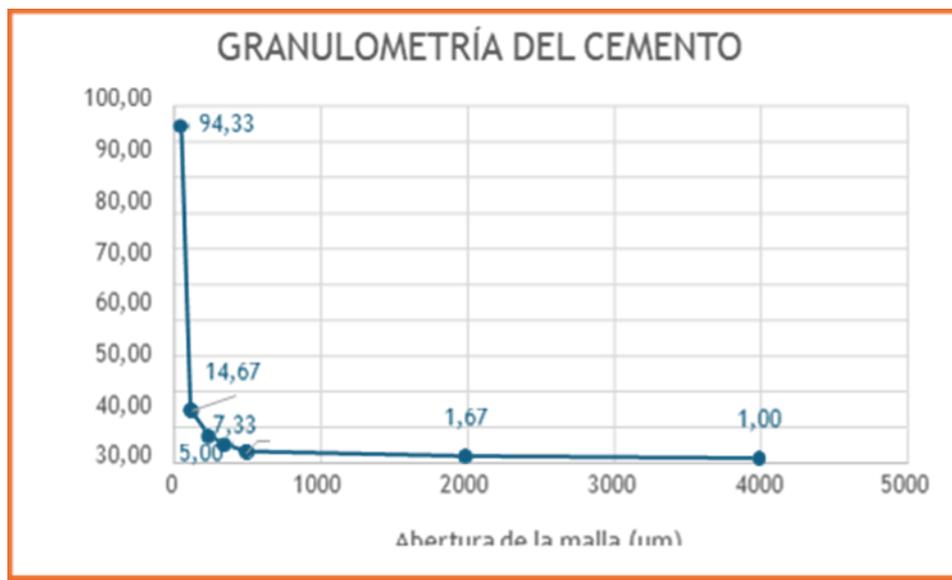
*Tabla 4.2.: Análisis granulométrico del cemento*

MALLA N°	ABERTURA A (d) mm	ABERTURA A (µm) MICRAS	MASA RETENIDA A g	RETENIDO % %	RETENIDO ACUMULADO %	PASANTE ACUMULADO % F(d) Teor.
5	4,000	4.000	3	1,00	1,00	99,00
10	2,000	2.000	2	0,67	1,67	98,33
35	0,500	500	4	1,33	3,00	97,00
50	0,355	355	6	2,00	5,00	95,00
60	0,250	250	7	2,33	7,33	92,67
120	0,125	125	22	7,33	14,67	85,33
230	0,063	63	239	79,67	94,33	5,67
Base		--	17	5,67	100,00	0,00
	TOTAL MUESTRA		300			

*Realizado por: (López, J., 2025)*

Una muestra total de 300 gramos de cemento pasó a través de las mallas N° (5, 10, 35, 50, 60 120 y 230), donde el (79,67 %) del retenido se encontró en la malla N° 230 de (63 µm) representando el mayor peso del cemento retenido con 239 g de los 300 g iniciales. El peso retenido en las demás mallas no representa un valor significativo.

Ilustración 4.2: Curva granulométrica promedio del cemento



Realizado por: (López, J., 2025)

La malla N<sup>o</sup> 230 con 239 g de muestra, representó el 94,33% de los retenidos acumulados por los agregados finos. En la malla N<sup>o</sup> 5, se retuvo el 1% de cemento que no representa un valor significativo en los agregados gruesos de la prueba de granulometría. Se concluyó que el cemento es un agregado de granulometría fina que obtuvo un valor elevado de retenido en las mallas de menor abertura.

### Granulométrica del relave minero

Se analizó la granulometría de los agregados siguiendo lo descrito en la Norma. Se utilizó una serie de mallas de diferentes aberturas para determinar la distribución granulométrica que obtuvo el relave minero como uno de los agregados en la dosificación.

Tabla 4.3: Granulometría del relave pasante acumulado para la curva granulométrica.

MAL LA N <sup>o</sup>	ABERTUR A (d) mm	ABERTUR A (µm) MICRAS	MASA RETENID A g	RETE NID O %	RETENIDO ACUMULA DO %	PASANTE ACUMULA DO % F(d) Teor.
5	4,000	4.000	7	2,33	2,33	97,66
10	2,000	2.000	25	8,33	10,66	89,33
35	0,500	500	49	16,33	27,00	73,00

50	0,355	355	15	5,00	32,00	68,00
60	0,250	250	12	4,00	36,00	64,00
120	0,125	125	130	43,33	79,33	20,66
230	0,063	63	55	18,33	97,66	2,33
Base		--	7	2,33	100,00	0,00
	TOTAL MUESTRA		300			

Realizado por: (López, J., 2025)

En la malla N<sup>o</sup> 35 se obtuvo 49 g de la muestra que representó la mayor proporción de los agregados gruesos con el 27% del retenido acumulado. En la malla N<sup>o</sup> 120 se retuvo el 79,33% de la muestra con un peso de 130 g, siendo donde existió mayor retención de agregados finos del relave minero.

### Discusión de resultados

Los agregados son muy importantes para la mezcla del cemento, puesto que estos le proporcionan resistencia (Castillo, 2009). Realizadas las pruebas de resistencia mecánica a los bloques huecos de cemento con relaves mineros como sustituyente de los agregados, se determinó que es una alternativa viable en la industria de la construcción al sustituir en bajas concentraciones el relave minero por los agregados, puesto que se obtuvieron valores de las resistencias mecánicas aceptables a lo que describe la Norma.

El metal con mayor importancia en la presente investigación fue el Pb, debido a que es peligroso para la salud, cuando existe una cantidad mayor a 0,05 mg/L en el cuerpo humano. La mayor concentración de Pb obtenida en los bloques huecos de cemento con relave minero fue 3,28 mg/L a los 7 días de edad, que en comparación con la concentración de Pb obtenida en el estudio realizado por Guaypacha, (2024), de 2,21 mg/L, que resultó ser menor a la obtenida en la investigación, no resultaron nocivos para la salud debido a que el cemento creó una capa protectora con la que no existe un contacto directo con el metal.

### Comprobación de hipótesis

Las hipótesis planteadas a través del método anova confirmó que al menos uno de los tratamientos tuvo una diferencia significativa para rechazar la hipótesis nula. Además, se realizó comparaciones de las medias con el método de Fisher y Tukey, donde los factores de los bloques que se fabricaron con relaves mineros compartieron la misma letra mostrando que las medias son indiferentes de manera estadística, mientras que las medias de los bloques estándar fueron diferentes de manera

significativa a las medias de los demás. Por tanto, a pesar de que los bloques fabricados tuvieron distintos tratamientos, se rechaza la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa en que la resistencia a la compresión de los bloques sí influyó, según la cantidad de relave minero que sustituyó a los agregados de construcción y el tiempo de curado de los bloques. Los bloques estándar y los bloques con bajo porcentaje de relave minero (5% y 10%) superaron el valor de la resistencia mínima requerida por la Norma NTE INEN 3066.2016-11 Bloques de Hormigón, mientras que los bloques fabricados con alto porcentaje de relave minero como al 15% y 20%, en absoluto llegaron al valor de la resistencia mínima descrita en la Norma.

## Conclusiones

- Se fabricaron bloques de tipo C de cemento utilizando como parte de los áridos relaves mineros que fueron tratados con floculantes al momento de la extracción del metal en la planta de beneficio GOLDMINS de Zaruma – Portovelo, obteniendo bloques de cemento aptos para la industria de la construcción que cumplen con lo descrito en la Norma a bajos porcentajes de relave minero con 5% y 10%.
- Se caracterizó el relave minero tratado con floculantes como parte de los áridos de las plantas de beneficio GOLDMINS de Zaruma - Portovelo, basados en la Norma NTP 339.176; donde las pruebas de pH mostraron una leve presencia de acidez en el relave (pH=6); una conductividad eléctrica de (882  $\mu$ S/cm) debido a la presencia de oro y otros metales de la extracción que son conductores de la electricidad; y una humedad de (1,45 %), por debajo a los descrito en la Norma NTC 1776:2019, esto debido a que las partículas de menor tamaño como el relave absorben menor cantidad de humedad.
- Se diseñó 5 tipos de dosificación para la fabricación de bloques huecos de cemento con relaves mineros como sustituyente de los áridos a diferentes porcentajes, obteniendo bloques de cemento con propiedades físicas y mecánicas que cumplieron con lo mencionado en la Norma.
- Se caracterizaron los bloques huecos de cemento de clase C con relaves mineros, mediante cálculos en los que se determinó que los bloques fabricados con bajos porcentajes de relave minero son una alternativa óptima para la reutilización de los desechos de las minas y que no sean perjudiciales para la salud.
- Se aplicó el método estadístico anova para la comprobación de la hipótesis en la que se aceptó la hipótesis alternativa, demostrando que dos de los tratamientos fueron diferente a los

demás, y que la resistencia a la compresión se comprometió, según el tiempo de curado y la cantidad de relave que se agregó a la mezcla.

## Referencias

1. Adrián, W., Campoverde, S., Daniel, E., & Zambrano, V. (2018). ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DETERMINACIÓN DE DOSIFICACIÓN PARA ELABORAR BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN QUE CUMPLAN CON LA ACTUAL NORMA INEN 3066. PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS.
2. Escuela Politécnica Nacional.
3. ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTROLÍTICA- MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-093-1984) WATER ANALYSIS- DETERMINATION OF ELECTROLITICAL CONDUCTIVITY- TEST METHOD. (n.d.).
4. Castillo, A. (2009). Accede a apuntes, guías, libros y más de tu carrera. San Marcos E.I.R.L. [www.udocz.com](http://www.udocz.com)
5. Cemento Inka. (2023). Fraguado del concreto, secado y curado - INKA. <https://www.cementosinka.com.pe/blog/fraguado-secado-y-curado-del-concreto/>
6. Centro Español de Metrología. (2020). Edición digital 1 PROCEDIMIENTO QU-001 PARA LA CALIBRACIÓN EQUIPOS DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.
7. Cordero, C., Marchevsky, N., Chiacchiarini, P., & Giaveno, M. (2022). 223574495009. *Minería y Geología*, 38, 70–82.
8. Enríquez, A., Hermosa, P., Collahuazo, L., Acosta, F., Feijoo, C., Quezada, M., & Ibarra, D. (2022). Estudio de caso para el aprovechamiento de relaves mineros procedentes de la concesión Campanillas, Zamora Chinchipe-Ecuador, como agregado para la elaboración de adoquines. *GEOLatitud*, 5, 34–43. <http://geolatitud.geoinvestigacion.gob.ec/ojs/ojs/index.php/GeoLatitud/article/view/114/101>

9. Enriquez, K., & Jurado, J. (2023). UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA (Creada por Ley N°. 25265) FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL TESIS LÍNEA DE INVESTIGACIÓN ESTRUCTURAS Y CONCRETO PRESENTADO POR: "INFLUENCIA DEL USO DE
10. RELAVE MINERO EN. Universidad Nacional de Huancavelica. Ensamblables, B. D. E. C., Jazmín, P., Cortijo, M., Alexander, K., & Marquina, R. (2020).
11. Carrera de Ingeniería Civil.
12. Fernando, L., Pulla, L., Stephany, D., & Taco, M. (2021). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.
13. Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. (2016). Norma Mexicana “NMX-AA-008-SCFI- 2016, Análisis de agua-medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba- (cancela a la NMX-AA-008SCFI-2011).” Diario Oficial de La Federación, 1–21. [http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa008-2016\\_09.pdf](http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa008-2016_09.pdf)
14. Gordillo, T., Herrera, C., Poretti, A., & Brunatti, C. (2018). Mampostería-de-bloques-de-hormigón-AABH-ICPA. Asociación Argentina del Bloque de Hormigón.
15. Gorman, M. R., & Dzombak, D. A. (2018a). A review of sustainable mining and resource management: Transitioning from the life cycle of the mine to the life cycle of the mineral. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 137, pp. 281–291). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.001>
16. Gorman, M. R., & Dzombak, D. A. (2018b). A review of sustainable mining and resource management: Transitioning from the life cycle of the mine to the life cycle of the mineral. *Resources, Conservation and Recycling*, 137(March), 281–291. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.001>
17. Guaypacha, D. (2024). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO “FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CEMENTO UTILIZANDO COMO PARTE DE LOS ÁRIDOS RELAVES MINEROS QUE ZARUMA-PORTOVELO.” Escuela Superior
18. Politécnica de Chimborazo.
19. Herrmann, C., & Zappettini, E. (2014). Recursos minerales, minería y medio ambiente. In *Recursos minerales, minería y medio ambiente* (pp. 68–80). Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR.
20. Heshmati, A. (2015). A Review of the Circular Economy and its Implementation.

21. INEN 856 - Áridos - Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y  
- Absorción del Árido Fino. (2012).  
<https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-particular-de-loja/metodos-alternativos-de-resolucion-de-conflictos/inen-856-aridos-determinacion-de-la-densidad-densidad-relativa-gravedad-especifica-y-absorcion-d/79233280>
22. Jara-Peña, E. (2017). Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida* (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y *Myriophyllum quitense* Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú. *Arnaldoa*, 24(2), 583–598.  
<https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24210>
23. Kosmatka, S. H., Panarese, W. C., & Bringas, M. S. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. In Portland Cement Association: Vol. Primera Ed.
24. Kossoff, D., Dubbin, W. E., Alfredsson, M., Edwards, S. J., Macklin, M. G., & Hudson-Edwards, K. A. (2014). Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. *Applied Geochemistry*, 51, 229–245.  
<https://doi.org/10.1016/J.APGEOCHEM.2014.09.010>
25. Lara-Díaz, R. A., & Melgoza-Alemán, R. M. (2009). Solidificación-Estabilización de Cromo, Níquel y Plomo en una Matriz Sólida de Hormigón Fabricada con Cemento Portland.
26. *Informacion Tecnologica*, 20(1), 29–38. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4029it.08>
27. Li, H., Ma, A., Srinivasakannan, C., Zhang, L., Li, S., & Yin, S. (2018). Investigation on the recovery of gold and silver from cyanide tailings using chlorination roasting process. *Journal of Alloys and Compounds*, 763, 241–249.  
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.05.298>
28. Maciel Benegas, Y., Monserrat, E., & Bustos, H. (2021). Agregados De La Construcción N. 4–16.
29. Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2018). ACUERDO Nro.
30. MERNNR-MERNNR-2020-0043-AM. Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 04, 2–3. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp->

- content/uploads/2020/07/MERNNR-MERNNR-2020-0043-AM-Instructivo-aprobacion-proyectos-relaves-mineria-FIRMADO.pdf
31. Normas-inen-872-535667 compress - INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN
  32. Quito - Ecuador NORMA - Studocu. (n.d.). Retrieved July 9, 2024, from [https://www.studocu.com/ec/document/unidad-educativa-domingo-faustino-sarmiento/lengua-espanola/normas-inen-872-535667-compress/69453637?origin=content-](https://www.studocu.com/ec/document/unidad-educativa-domingo-faustino-sarmiento/lengua-espanola/normas-inen-872-535667-compress/69453637?origin=content-sidebar-recent) sidebar-recent
  33. NTC 1776 Método de Ensayo para Determinar el Contenido Total de Humedad Evaporable por Secado de los Agregados. (2019, June 19). <https://pdfcoffee.com/ntc-1776-humedad-2019-5-pdf-free.html>
  34. nte inen 696-1. (n.d.). Retrieved July 10, 2024, from [https://studylib.es/doc/8874206/nte-](https://studylib.es/doc/8874206/nte-inen-696-1) inen- 696-1
  35. NTE INEN 3066. (2016). Bloques de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 45. file:///C:/Users/Alba/Downloads/nte\_inen\_3066.pdf
  36. NTP 339 - Método de ensayo normalizado para la determinación de valor pH en suelos y agua  
- Studocu. (n.d.). Retrieved July 10, 2024, from <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-jorge-basadre-grohmann/mecanica-de-suelos/ntp-339-metodo-de-ensayo-normalizado-para-la-determinacion-de-valor-ph-en-suelos-y-agua/37398946>
  37. Organización Mundial de la Salud. (2024, September 27). Intoxicación por plomo. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
  38. Ortiz Ayovi, E. A., Orejuela Ortiz, E. F., & Ruiz Párraga, W. E. (2020). Evaluación del cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma INEN, en la elaboración artesanal de los bloques de hormigón en el cantón Portoviejo. *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 4(2), 15. <https://doi.org/10.33936/riemat.v4i2.2189>
  39. pH - Concepto, escala de medidas, cómo se mide y ejemplos. (n.d.). <https://concepto.de/>.
  40. Retrieved March 24, 2025, from <https://concepto.de/ph/>
  41. Pinto, A. (2012). RESISTENCIA DEL CONCRETO A LOS 28 DÍAS.

42. [https://ingenieriareal.com/resistencia-del-concreto-a-los-28-dias/?srsltid=AfmBOordd1Ds194R6AkZ-SJG3ryxAh-0y4VCTFqMSCf\\_U9EDOalwkKXz](https://ingenieriareal.com/resistencia-del-concreto-a-los-28-dias/?srsltid=AfmBOordd1Ds194R6AkZ-SJG3ryxAh-0y4VCTFqMSCf_U9EDOalwkKXz)
43. Roche, C., Thygesen, K., & Baker, E. (Eds. ). (2017). Mine Tailings Storage: Safety Is No Accident. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal, 70. <https://grid.cld.bz/Mine-Tailings-Storage-Safety-Is-No-Accident>
44. Rojas, L., & Ventura, L. (2017). Universidad Nacional De Huancavelica Facultad De Ciencias De Ingeniería Escuela Profesional De Ingeniería Civil Tesis “Utilización Del Relave
45. Minero Para La Elaboración De Bloques De Concreto Tipo Ensamblable” Línea De Investigación: Tecnología De Los Mat.
46. Romero, A., & Flores, S. (2010). 81619984010. *Industrial Data*, 13, 75–82.
47. Romero, A., Flores, S., & Medina, R. (2008a). Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*, 11(22), 13–16.
48. Romero, A., Flores, S., & Medina, R. (2008b). RFIGMMG-22-1. *Revista Del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 11, 8.
49. Santamar, J., Guerrero, A., Molina, E. D. A., De Luis Ruiz, J. M., & Alcántara García, D. A. (2005). Accede a apuntes, guías, libros y más de tu carrera. 1, 161. <https://books.google.com/books?id=7J-QPQAACAAJ&pgis=1%0Afile:///C:/Users/Usuario/Downloads/1-2-reduccion-por-filas-y-forma-escalonada-algebra-lineal-37032-downloadable-1379187.pdf>
50. Sierra, C., Moreno, J., & Silva, H. (2015). Canales de distribución: características principales de los distribuidores mayoristas de materiales de construcción de extracción minera en Barranquilla - Colombia. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios En Ciencias Sociales*, 17(3), 512–529. <https://doi.org/10.36390/telos173.09>
51. Silvana, F., & Romero, A. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Industrial Data*, 13(1), 75–
52. 82. [redalyc.org/pdf/816/81619984010.pdf](https://redalyc.org/pdf/816/81619984010.pdf)

53. Tayebi-Khorami, M., Edraki, M., Corder, G., & Golev, A. (2019). minerals Re-Thinking Mining Waste through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations. <https://doi.org/10.3390/min9050286>
54. Teijlingen Karolien Van. (2019). Los depósitos de relaves en Ecuador y sus riesgos socio-ambientales. 1–25.
55. UNE 77327:2003 Calidad del suelo. Determinación de la densidad aparente del suelo seco. (2003, July). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0029504>
56. Vélez, L. (2010). Permeabilidad y Porosidad en Concreto. *Revista Tecno Lógicas*, 25, 169–187. Villacis, M., Luna, G., Velastegui, E., Santacruz, W., Zuñiga, P., Nates, J., & Orbe, L. (2020). Dosificación para elaborar bloques huecos de hormigón que cumplan con la actual NTE INEN 3066. *Revista Tecnológica Espol*, 32. <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/688/418>
57. Wills, B. A., & Finch, J. A. (2015). Wills' mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery. *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*, 1–498.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).