



Fabricación de bloques de cemento utilizando como parte de los áridos relaves mineros que generan las plantas de beneficio Aproplasmin de Zaruma – Portovelo

Manufacture of cement blocks using mining tailings generated by the Zaruma – Portovelo Aproplasmin processing plants as part of the aggregates

Fabricação de blocos de cimento utilizando rejeitos de mineração gerados pelas plantas de beneficiamento de Aproplasma Zaruma – Portovelo como parte dos agregados

Darwin Darío Guaypacha-Remache ^I
darwin.guaypacha@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0003-8286-1276>

Segundo Hugo Calderón ^{II}
hcalderon@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9213-9717>

Alex Ricardo Guamán-Andrade ^{III}
alexr.guaman@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8862-8350>

Correspondencia: darwin.guaypacha@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 15 de febrero de 2025 * **Aceptado:** 27 de marzo de 2025 * **Publicado:** 14 de abril de 2025

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

Resumen

La industria minera abarca problemáticas de tipo ambiental como social; el relave que es desechado a la intemperie presenta metales pesados y agentes químicos que son utilizados durante la extracción de metales preciosos lo que genera niveles considerables de contaminación. Por este motivo, en el presente trabajo de investigación se desarrolló una metodología para la elaboración de bloques de hormigón de Clase C incluyendo al relave como parte de los áridos, con el fin de encontrar la dosificación que presente mejores resultados reutilizando los residuos mineros que contribuyen a la contaminación ambiental. Para el desarrollo de la investigación, se empezó con la recolección de las materias primas para proceder a su respectiva caracterización y análisis con el objetivo de que cumplan con los requerimientos estipulados en las Normas NTE INEN 872 Áridos para Hormigón Requisitos y en la NTE INEN 152 Cemento Portland Requisitos. Posteriormente se inició con el planteamiento del diseño experimental en el que en base de una investigación previa se propusieron 7 dosificaciones con diferentes porcentajes de cada árido (incluyendo el relave) que constituye los bloques con el propósito de analizar si al variarlos presentan diferentes resultados en comparación al variar únicamente el porcentaje de arena.

Por medio de esta metodología y de las pruebas realizadas que se encuentran impuestas en la Norma NTE INEN 3066 Bloques de Hormigón Requisitos y Métodos de Ensayo se obtuvo que de las 7 dosificaciones investigados, la dosificación 3 con una composición de 15 % de relave es la que mejores resultados presenta, tanto en el valor de resistencia a la compresión, como en los resultados de densidad y absorción de agua que son los datos de más relevancia en un bloque para ser categorizado; también se pudo determinar que el porcentaje de plomo que presenta el bloque fabricado bajo dicha dosificación es de 0,1604 ppm que no representa un riesgo para la salud. Con esta metodología se obtuvo una dosificación para la fabricación de bloques de clase C a partir de áridos utilizados en la fabricación de bloques de manera artesanal y la inclusión de 15 % de relave que contribuyen a la reducción de la contaminación y el aprovechamiento eficiente de residuos mineros.

Palabras clave: relave; bloque de hormigón; dosificación; áridos; norma NTE INEN 872; norma NTE INEN 3066.

Abstract

The mining industry faces both environmental and social issues. The tailings dumped in the open contain heavy metals and chemicals used in precious metal extraction, generating significant levels of pollution. For this reason, this research developed a methodology for producing Class C concrete blocks, including tailings as an aggregate. This methodology was used to determine the dosage that provides the best results by reusing mining waste, which contributes to environmental pollution. This research began with the collection of raw materials for their characterization and analysis, ensuring they meet the requirements stipulated in NTE INEN 872 Aggregates for Concrete Requirements and NTE INEN 152 Portland Cement Requirements. Subsequently, the experimental design approach was started, in which, based on previous research, 7 dosages were proposed with different percentages of each aggregate (including tailings) that make up the blocks with the purpose of analyzing whether varying them presents different results compared to varying only the percentage of sand.

Using this methodology and the tests required by Standard NTE INEN 3066, Concrete Blocks, Requirements and Test Methods, it was determined that of the seven dosages investigated, dosage 3, with a 15% tailings composition, presented the best results, both in terms of compressive strength, density, and water absorption, which are the most relevant data for a block to be categorized. It was also determined that the lead percentage in the block manufactured with this dosage is 0.1604 ppm, which does not pose a health risk. This methodology yielded a dosage for the manufacture of class C blocks from aggregates used in artisanal block making and the inclusion of 15% tailings, which contributes to reducing pollution and the efficient use of mining waste.

Keywords: tailings; concrete block; dosage; aggregates; Standard NTE INEN 872; NTE INEN 3066 standard.

Resumo

A indústria de mineração abrange questões ambientais e sociais; Os rejeitos despejados a céu aberto contêm metais pesados e agentes químicos utilizados na extração de metais preciosos, gerando níveis consideráveis de poluição. Por isso, nesta pesquisa foi desenvolvida uma metodologia para produção de blocos de concreto Classe C, incluindo rejeitos como parte dos agregados, a fim de encontrar a dosagem que produza os melhores resultados por meio do reaproveitamento de rejeitos de mineração que contribuem para a poluição ambiental. Para o desenvolvimento da pesquisa,

iniciou-se a coleta de matérias-primas para proceder à sua respectiva caracterização e análise com o objetivo de atender aos requisitos estipulados nas Normas NTE INEN 872 Requisitos de Agregados para Concreto e NTE INEN 152 Requisitos de Cimento Portland. Posteriormente, foi iniciada a abordagem do delineamento experimental, onde, com base em pesquisas anteriores, foram propostas 7 dosagens com diferentes porcentagens de cada agregado (incluindo rejeitos) que compõem os blocos com o objetivo de analisar se variá-los apresenta resultados diferentes em relação à variação apenas da porcentagem de areia.

Por meio desta metodologia e dos ensaios realizados que são impostos na Norma NTE INEN 3066 Requisitos e Métodos de Ensaio para Blocos de Concreto obteve-se que das 7 dosagens investigadas, a dosagem 3 com composição de 15% de rejeitos é a que apresenta os melhores resultados, tanto no valor de resistência à compressão, como nos resultados de densidade e absorção de água que são os dados mais relevantes em um bloco a ser categorizado; Foi determinado também que a porcentagem de chumbo no bloco fabricado com essa dosagem é de 0,1604 ppm, o que não representa risco à saúde. Essa metodologia produziu uma dosagem para fabricação de blocos classe C utilizando agregados utilizados na fabricação artesanal de blocos e a inclusão de 15% de rejeitos, que contribuem para a redução da poluição e o aproveitamento eficiente dos rejeitos da mineração.

Palavras-chave: rejeitos; bloco de concreto; dosagem; árido; Norma NTE INEN 872; Norma NTE INEN 3066.

Introducción

La contaminación ambiental derivada de los relaves mineros abandonados y mal administrados es una preocupación creciente en muchas regiones mineras del mundo. Estos relaves, que son los residuos generados después de la separación de la fracción valiosa (mena) de la fracción no económica (ganga) de un mineral, contienen metales pesados y agentes químicos utilizados en la minería. En el Ecuador, específicamente en el distrito minero de Portovelo-Zaruma, la explotación minera para la obtención de oro ha generado una acumulación significativa de relaves. Estos residuos no solo representan un riesgo ambiental, sino también un desafío para la gestión de residuos en la región (Cruz & Sotomayor, 2022).

Según el estudio realizado por Vitti & Arnold (2022), las actividades mineras producen grandes cantidades de desechos sólidos y líquidos, incluidos los relaves mineros. Estos relaves contienen sustancias tóxicas como minerales sulfurados generadores de ácido y metales pesados y metaloides

tóxicos como zinc (Zn), mercurio (Hg), cobre (Cu) y plomo (Pb), entre otros. La presencia de estos elementos en los relaves mineros puede tener efectos nocivos en el medio ambiente y la salud humana, contaminando suelos, aguas superficiales y subterráneas, y afectando la biodiversidad local. La gestión adecuada de los relaves mineros es esencial para mitigar su impacto ambiental. Sin embargo, en muchas regiones, estos residuos son abandonados o mal administrados, lo que agrava la problemática de la contaminación. En el distrito minero de Portovelo-Zaruma, la acumulación de relaves mineros es una consecuencia directa de la intensa actividad minera para la extracción de oro. Esta situación plantea la necesidad de buscar soluciones innovadoras y sostenibles para la gestión de estos residuos.

En respuesta a la creciente preocupación por la contaminación ambiental y la gestión de residuos mineros, se han propuesto diversas estrategias para reutilizar los relaves mineros en aplicaciones industriales. Una de estas estrategias es la fabricación de bloques de cemento utilizando los relaves mineros como parte de los áridos. Los prefabricados de cemento son productos ampliamente utilizados en la construcción de infraestructuras alrededor del mundo debido a su durabilidad, resistencia y versatilidad (Morán, 2018).

La reutilización de los relaves mineros en la fabricación de bloques de cemento ofrece múltiples beneficios. En primer lugar, permite reducir la cantidad de residuos mineros que se acumulan en el medio ambiente, disminuyendo así su impacto negativo. En segundo lugar, aprovecha los metales presentes en los relaves, aunque sea en bajas concentraciones, para crear productos de valor añadido. En tercer lugar, contribuye a la sostenibilidad de la industria de la construcción al incorporar materiales reciclados en los procesos de fabricación.

En Ecuador, menos del 10% de las viviendas son construidas con productos prefabricados de cemento. La fabricación de bloques de cemento utilizando relaves mineros puede aumentar significativamente este porcentaje, proporcionando una alternativa viable y sostenible para la construcción de viviendas y otras infraestructuras como edificios y puentes (Cabezas, 2014). Además, esta estrategia puede fomentar la innovación en la industria de la construcción y promover prácticas más ecológicas y responsables.

La fabricación de productos prefabricados de cemento utilizando los relaves desechados en las plantas de beneficio "APROPLASMIN" de Zaruma-Portovelo no solo ofrece una solución para la gestión de residuos mineros, sino que también proporciona una alternativa viable para la construcción de viviendas. Esta iniciativa puede beneficiar tanto a las constructoras como a la

población en general, ofreciendo productos de alta calidad y contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental.

El objetivo general de esta investigación es fabricar bloques de cemento utilizando como parte de los áridos los relaves mineros generados por las plantas de beneficio "APROPLASMIN" de Zaruma-Portovelo. Para alcanzar este objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar los relaves** de las plantas de beneficio de Zaruma-Portovelo en base a la Norma Técnica NTE INEN 872-1982-12 Áridos para Hormigón Requisitos.
- Diseñar experimentalmente y fabricar los bloques de cemento**, utilizando los relaves como árido.
- Caracterizar los bloques prefabricados de cemento** basados en la Norma Técnica NTE INEN 3066, 2016-11 Bloques de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo.
- Aplicar un método estadístico** para la discriminación de datos de la investigación.

La importancia de esta investigación radica en su potencial para ofrecer soluciones prácticas y sostenibles a la problemática de los relaves mineros en el distrito de Portovelo-Zaruma. Al reutilizar estos residuos en la fabricación de bloques de cemento, se contribuye a la reducción de la contaminación ambiental y se promueve la sostenibilidad en la industria de la construcción. Además, esta iniciativa puede servir como modelo para otras regiones mineras que enfrentan desafíos similares, demostrando que es posible transformar los residuos en recursos valiosos.

La fabricación de bloques de cemento utilizando relaves mineros también puede tener un impacto positivo en la economía local. Al crear productos de construcción a partir de residuos mineros, se generan nuevas oportunidades de empleo y se fomenta el desarrollo de tecnologías innovadoras. Esto puede fortalecer la industria de la construcción en la región y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. La fabricación de bloques de cemento utilizando relaves mineros de las plantas de beneficio "APROPLASMIN" de Zaruma-Portovelo representa una solución viable y sostenible para la gestión de residuos mineros y la construcción de infraestructuras. Esta investigación tiene el potencial de contribuir significativamente a la reducción de la contaminación ambiental, promover prácticas sostenibles en la industria de la construcción y mejorar la economía local.

Metodología

Tipo de investigación

El presente proyecto de investigación es un estudio de tipo exploratorio, descriptivo y explicativo con un diseño experimental debido a que nos posibilita ensayar los determinantes de correlación eficiencia de resistencia con la conexión de residuos mineros (relave), permitiéndonos valorar el sistema de resistencia para comprobar la calidad del producto mediante los análisis físicos.

Enfoque de la investigación

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque sistemático mixto, es decir, tiene un enfoque cuantitativo y uno cualitativo. El primer enfoque se relaciona con la representación numérica, como lo son las cantidades a nivel estadístico, la recolección de datos numéricos, medidas y asignación de un valor numérico a los resultados obtenidos; y el enfoque cualitativo se presenta en la utilización de normas técnicas para saber el estado del producto fabricado.

Identificación de variables de las etapas de elaboración de bloques

Tabla 1-2: Identificación de variables de las etapas de elaboración de bloques

Etapas del proceso	Variables dependientes	Variables independientes
Dosificación y preparación de la mezcla	Tipo de materiales, cantidad del material	Cantidad de producción
Moldeo de bloques	Compactación	Temperatura, fuerza ejercida
Fraguado y curado	Tiempo, humedad	Cantidad de bloques

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

Hipótesis

Hipótesis nula

El uso de relave como parte de los áridos en la fabricación de bloques de concreto no influye en la resistencia a la compresión, densidad y absorción máxima de agua.

Hipótesis alternativa

El uso de relave como parte de los áridos en la fabricación de bloques de concreto influye en la resistencia a la compresión, densidad y absorción máxima de agua.

Unidad de análisis

Unidad de análisis de los áridos

La unidad experimental se encuentra conformada por muestras de los diferentes áridos que son utilizados en la elaboración de los bloques con relave.

Unidad de análisis de los bloques

La unidad experimental está constituida por los diferentes tipos de bloques fabricados bajo distintas condiciones de las variables independientes.

Población de estudio

Población de estudio de los áridos

En el presente trabajo, la población de estudio se encuentra representada por los 5 áridos que son utilizados en la elaboración de bloques, resultando un total de 5 unidades experimentales.

Población de estudio de los bloques

En la presente investigación, la población de estudio se encuentra representada por 7 combinaciones con diferente dosificación en relación con cada material participante de la mezcla para la elaboración de bloques de concreto y 6 repeticiones, resultando un total de 42 unidades experimentales.

Tamaño de muestra

Tamaño de muestra de áridos

El tamaño de la muestra se encuentra constituido por 500 gramos de cada uno de los áridos.

Tamaño de muestra de bloques

El tamaño de la muestra se encuentra constituido por la población de estudio.

Selección de la muestra

Selección de la muestra de los áridos

Para la selección de las muestras de cada árido se lo realiza mediante un muestreo aleatorio simple de los áridos almacenados en sacos para ensayarlos y analizar si cumplen con lo impuesto en la Norma NTE IEN 872.

Selección de la muestra de los bloques

Para la selección de la muestra se lo realiza mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia para ensayar cada uno de los bloques según las pruebas impuestas que deben cumplir por la Norma NTE INEN 3066.

Diseño experimental

Por medio de los trabajos realizados por (Paguay, 2019) y (Balegamire et al., 2022) se puede observar que las dosificaciones utilizadas para la elaboración de bloques de manera comercial presentan la proporción de los agregados de la siguiente manera: 1: 3: 6; siendo el orden de los agregados cemento, macadán y chasqui/piedra pómez respectivamente, pero al incluir como parte de los áridos el relave se baja en un 20, 30 y 40 % únicamente la proporción del árido fino manteniendo intacta la de los demás áridos.

En otro trabajo realizado por (Villacis et al., 2020) se encuentra presentada la dosificación que fue usada para la elaboración de bloques comerciales en el que se tiene como parte de los áridos dos componentes finos (macadán y arena) la proporción requerida fue: 1: 2,04: 2,34: 2;52, siendo el orden de los áridos cemento, arena, macadán y chasqui/piedra pómez y 2,02 de agua, obteniendo bloques de clase C de alto rendimiento en cuanto a resistencia a la compresión y densidad.

Para el presente trabajo de investigación tomando en cuenta la dosificación presentada por (Villacis et al., 2020) se generan 7 dosificaciones experimentales para la elaboración de bloques de hormigón con relave variando la proporción de todos los áridos en diferentes combinaciones con 6 repeticiones que se encuentran plasmados en el Tabla 3-2, teniendo un total de 42 unidades experimentales, de las cuales se realiza una base de resultados con los valores que se obtienen de cada uno de los ensayos a realizar para la elaboración del análisis estadístico utilizando un estudio chi – cuadrado.

Tabla 2-2: Descripción del diseño del experimento

Parámetros	Cantidad
Factor de estudio	1
Dosificaciones o combinaciones	7
Repeticiones	6

Unidades experimentales	42
Peso unidad experimental	8,5 kg – 11,5 kg

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

En la Tabla 2-2 se especifica que el factor de estudio es 1 dado que el factor de más importancia en el presente trabajo de investigación es la resistencia a la compresión de los bloques fabricados con relave.

Tipo de diseño

El tipo de diseño utilizado en la elaboración de bloques de hormigón con relave es el Diseño completamente aleatorio (DCA), el cual permite la relación entre las variables de estudio: peso, resistencia a la compresión, absorción, densidad, entre otros.

Nomenclatura del diseño de fabricación

El factor de estudio pertenece a combinaciones de áridos y las dosificaciones con un árido agregado basado en desechos mineros (relave) que se identifican con el código “T”.

Las repeticiones de cada una de las dosificaciones se identifican con el código “B”.

Tabla 3-2: Tabla matriz

Materia prima	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
	%	kg												
Cemento														
Chasqui														
Macadán														
Arena														
Relave														
Agua														

- **Dosificación**

T1 = Dosificación 1

T2 = Dosificación 2

T3 = Dosificación 3

T4 = Dosificación 4

T5 = Dosificación 5

T6 = Dosificación 6

T7 = Dosificación 7

- Repetición = Bloque

B1 = Bloque 1

B2 = Bloque 2

B3 = Bloque 3

B4 = Bloque 4

B5 = Bloque 5

B6 = Bloque 6

Tabla 3-2: Diseño experimental

Materia prima	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
	%	Kg	%	Kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg
Cemento	12,66	1	11,3924	0,9	10,7595	0,85	10,1266	0,8	9,4937	0,75	8,8608	0,7	8,2278	0,65
Chasqui	29,6203	2,34	26,6582	2,106	25,1772	1,989	23,6962	1,872	22,2152	1,755	20,7342	1,638	19,2532	1,251
Macadán	31,8987	2,52	28,7089	2,268	27,1139	2,142	25,5190	2,016	23,9241	1,89	22,3291	1,764	20,7342	1,638
Arena	25,8228	2,04	23,2405	1,836	21,9494	1,734	20,6582	1,632	19,3671	1,53	18,0759	1,428	16,7848	1,326
Relave	0	0	10	0,79	15	1,185	20	1,58	25	1,975	30	2,37	35	2,765
Agua	-	2,02	-	2,10	-	2,15	-	2,15	-	2,30	-	2,30	-	2,40

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

Ubicación de la investigación

El presente proyecto de investigación se lo realizó en un único lugar, las etapas de secado, elaboración, fraguado y curado de los bloques de concreto con relave se ejecutaron en los

laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, ubicada en la Panamericana Sur, Km 1 1/2 Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, a una altitud de 2754 metros sobre el nivel del mar con una temperatura media de 9-18 °C, humedad media de 75-90 % y una presión atmosférica de 760 mm Hg.

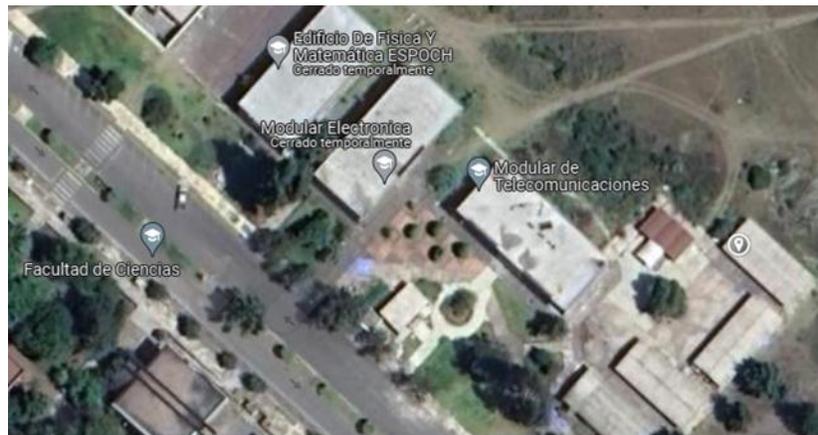


Figura 1-2: Localización de la elaboración del proyecto de investigación

Fuente: Google Earth, 2023

Resultados

Análisis e interpretación de resultados

Con la finalidad de llevar una secuencia lógica en el análisis de los resultados, se describe el procedimiento a continuación.

Ensayos físicos y organolépticos a las materias primas

Análisis granulométrico

La prueba de granulometría se ha realizado con la finalidad de analizar si los materiales a usar en la elaboración de bloques cumplen con los requisitos señalados en la Norma NTE INEN 872.

Tabla 1-3: Granulometría de relave

Peso de la muestra (g)		500 g			Pérdida de muestra	
Ensayado por		Dario Guaypacha			Fecha de muestreo	14/5/2023
Norma		NTE INEN 872:2011			Fecha de ensayo	06/10/2023
Tamiz	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (g)	Porcentaje que pasa (g)
No. 5	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 10	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 14	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 18	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 35	0,50	1,53	1,53	0,31	0,31	99,69
No. 45	0,36	6,05	7,58	1,21	1,52	98,48
No. 60	0,25	10,39	17,97	2,08	3,59	96,41
No. 70	0,21	46,57	64,54	9,31	12,91	87,09
Bandeja		435,40	499,94	87,08	99,99	0,01

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

Tabla 2-3: Límites granulométricos para análisis de áridos

Tamiz	Abertura INEN 154 (mm)	Límite inferior ASTM C 33-84	Límite superior ASTM C 33-84
3/8 "	9,50	100	100
No. 4	4,76	95	100
No. 8	2,38	95	100
No. 16	1,19	80	100
No. 30	0,59	50	85
No. 50	0,30	25	60
No. 100	0,15	10	30
No. 200	0,08	2	10

Fuente: (Demera & Romero, 2018)

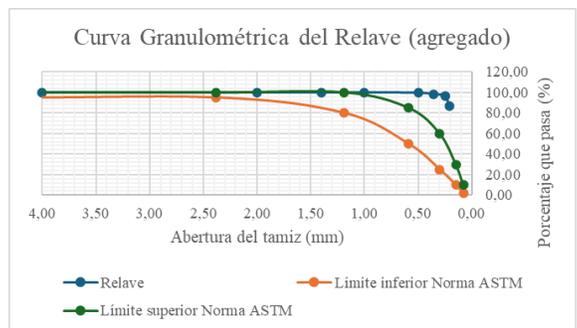


Gráfico 1-3: Granulometría de relave

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

Interpretación

De acuerdo con los valores obtenidos al pasar la muestra de relave por los tamices disponibles se presenta la Tabla 1-3 que en conjunto con la Tabla 2-3 permiten la elaboración del Gráfico 1-3 de donde se deduce que el ensayo de granulometría cumple parcialmente debido a que los valores obtenidos cumplen con los valores limitantes presentados por la Norma ASTM C 33-84 Especificaciones Técnicas de Granulometría en los tamices No. 5, 10, 14 y 18, sin embargo, en los tamices No. 35, 45, 60 y 70 no cumplen de acuerdo a la Norma.

Conclusión

Basado en los resultados de la curva granulométrica del relave se considera que es factible utilizar como árido fino en la mampostería.

Tabla 3-3: Granulometría de macadán

Peso de la muestra (g)		500 g			Pérdida de muestra	
Ensayado por		Dario Guaypacha			Fecha de muestreo	10/10/2023
Norma		NTE INEN 872:2011			Fecha de ensayo	12/10/2023
Tamiz	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	Porcentaje e retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (g)	Porcentaje e que pasa (g)
No. 5	4,00	5,54	5,54	1,11	1,11	98,89
No. 10	2,00	8,08	13,62	1,62	2,72	97,28
No. 14	1,40	9,78	23,40	1,96	4,68	95,32
No. 18	1,00	57,96	81,36	11,59	16,27	83,73
No. 35	0,50	45,21	126,57	9,04	25,31	74,69
No. 45	0,36	59,81	186,38	11,96	37,28	62,72

No. 60	0,25	63,15	249,53	12,63	49,91	50,09
No. 70	0,21	67,72	317,25	13,54	63,45	36,55
Bandeja		182,71	499,96	36,54	99,99	0,01

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

Tabla 4-3: Límites granulométricos para análisis de áridos

Tamiz	Abertura INEN 154 (mm)	Límite inferior ASTM C 33-84	Límite superior ASTM C 33-84
3/8 "	9,50	100	100
No. 4	4,76	95	100
No. 8	2,38	95	100
No. 16	1,19	80	100
No. 30	0,59	50	85
No. 50	0,30	25	60
No. 100	0,15	10	30
No. 200	0,08	2	10

Fuente: (Demera & Romero, 2018)

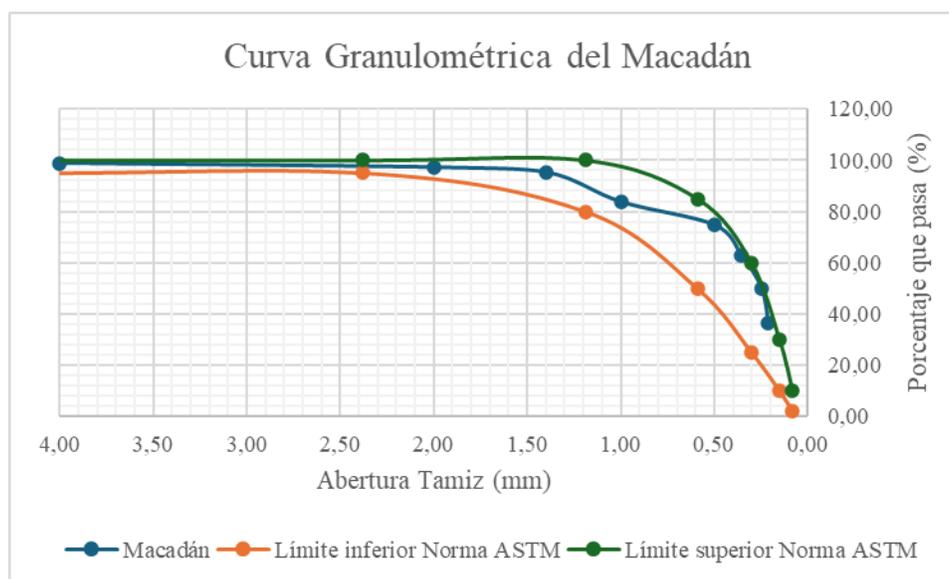


Gráfico 2-3: Granulometría del macadán

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

Interpretación:

Por medio de los datos obtenidos al pasar la muestra de macadán por los tamices necesarios se presenta la Tabla 3-3, en conjunto con la Tabla 4-3 son plasmados en el Gráfico 2-3 de donde se

infiere que el macadán cumple satisfactoriamente con los límites presentados en la Norma ASTM C 33-84 en todos los tamices.

Conclusión

Es apto para ser utilizado como árido fino dentro del campo de la mampostería.

Tabla 5-3: Granulometría del cemento

Peso de la muestra (g)		500 g			Pérdida de muestra	
Ensayado por		Dario Guaypacha			Fecha de muestreo	10/10/2023
Norma		NTE INEN 872:2011			Fecha de ensayo	12/10/2023
Tamiz	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (g)	Porcentaje que pasa (g)
No. 5	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 10	2,00	3,99	3,99	0,80	0,80	99,20
No. 14	1,40	58,23	62,22	11,65	12,44	87,56
No. 18	1,00	52,93	115,15	10,59	23,03	76,97
No. 35	0,50	47,94	163,09	9,59	32,62	67,38
No. 45	0,36	30,67	193,76	6,13	38,75	61,25
No. 60	0,25	28,65	222,41	5,73	44,48	55,52
No. 70	0,21	21,22	243,63	4,24	48,73	51,27
Bandeja		256,29	499,92	51,26	99,98	0,02

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

Tabla 6-3: Límites granulométricos para análisis de áridos

Tamiz	Abertura INEN 154 (mm)	Límite inferior ASTM C 33-84	Límite superior ASTM C 33-84
3/8 "	9,50	100	100
No. 4	4,76	95	100
No. 8	2,38	95	100
No. 16	1,19	80	100
No. 30	0,59	50	85
No. 50	0,30	25	60
No. 100	0,15	10	30
No. 200	0,08	2	10

Fuente: (Demera & Romero, 2018)

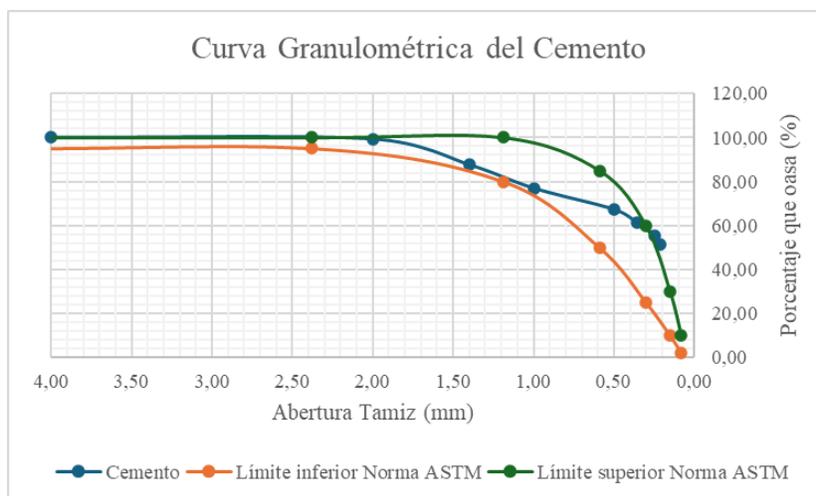


Gráfico 3-3: Granulometría del cemento

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

Interpretación

A través de los datos reflejados en la Tabla 5-3 y la Tabla 6-3 se elaboró el Gráfico 3-3 demostrando que los valores obtenidos en la mayoría de los tamices cumplen con los límites de la Norma ASTM C 33-84, sin embargo, en los tamices No. 60 y 70 no cumplen mencionada Norma.

Conclusión

El cemento puzolánico Chimborazo es apto para ser usado como árido fino en la mampostería.

Tabla 7-3: Granulometría de la arena

Peso de la muestra (g)		500 g			Pérdida de muestra	
Ensayado por		Dario Guaypacha			Fecha de muestreo	11/10/2023
Norma		NTE INEN 872:2011			Fecha de ensayo	13/10/2023
Tamiz	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (g)	Porcentaje que pasa (g)
No. 5	4,00	5,54	5,54	1,11	1,11	98,89
No. 10	2,00	8,08	13,62	1,62	2,72	97,28
No. 14	1,40	29,78	43,40	5,96	8,68	91,32
No. 18	1,00	37,96	81,36	7,59	16,27	83,73
No. 35	0,50	45,21	126,57	9,04	25,31	74,69
No. 45	0,36	59,81	186,38	11,96	37,28	62,72

No. 60	0,25	63,12	249,50	12,62	49,90	50,10
No. 70	0,21	77,75	327,25	15,55	65,45	34,55
Bandeja		172,70	499,95	34,54	99,99	0,01

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

Tabla 8-3: Límites granulométricos para análisis de áridos

Tamiz	Abertura INEN 154 (mm)	Límite inferior ASTM C 33-84	Límite superior ASTM C 33-84
3/8 "	9,50	100	100
No. 4	4,76	95	100
No. 8	2,38	95	100
No. 16	1,19	80	100
No. 30	0,59	50	85
No. 50	0,30	25	60
No. 100	0,15	10	30
No. 200	0,08	2	10

Fuente: (Demera & Romero, 2018)

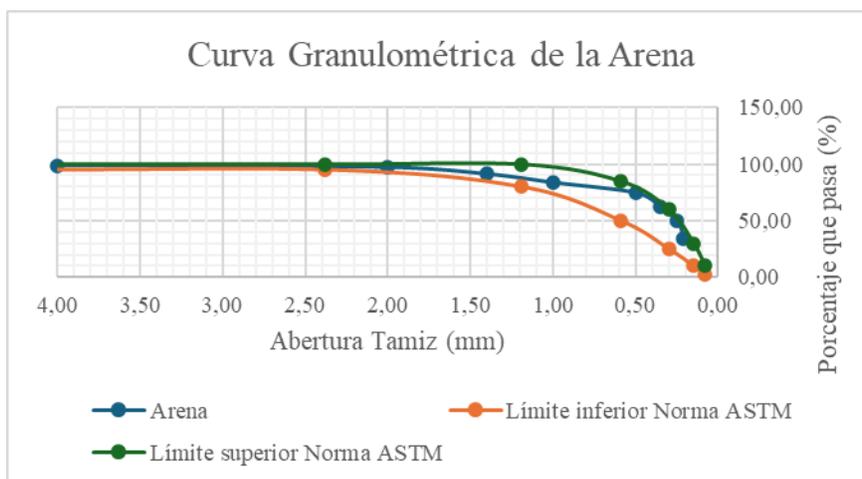


Gráfico 4-3: Granulometría de la arena

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

Interpretación

De acuerdo con el Gráfico 4-3 elaborado a partir de los datos obtenidos en la experimentación se expresa la Tabla 7-3 que en conjunto con la Tabla 8-3 se entiende que los valores obtenidos en el ensayo de granulometría para la arena cumplen con el requisito de los límites permitidos por la

Norma ASTM C 33-84, recalcando que en los tamices No. 35, 45, 60 y 70 lo hacen con valores cercanos al límite superior.

Conclusión

La arena negra es apta para ser usada como árido fino en la mampostería cumpliendo con los requerimientos de granulometría necesarios.

Tabla 9-3: Granulometría del chasqui

Peso de la muestra (g)		500 g			Pérdida de muestra	
Ensayado por		Dario Guaypacha			Fecha de muestreo	11/10/2023
Norma		NTE INEN 872:2011			Fecha de ensayo	13/10/2023
Tamiz	Abertura INEN 154 (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (g)	Porcentaje que pasa (g)
No. 5	4,00	377,69	377,69	75,54	75,54	24,46
No. 10	2,00	40,09	417,78	8,02	83,56	16,44
No. 14	1,40	29,56	447,34	5,91	89,47	10,53
No. 18	1,00	19,57	466,91	3,91	93,38	6,62
No. 35	0,50	10,32	477,23	2,06	95,45	4,55
No. 45	0,36	8,02	485,25	1,60	97,05	2,95
No. 60	0,25	5,94	491,19	1,19	98,24	1,76
No. 70	0,21	4,41	495,60	0,88	99,12	0,88
Bandeja		3,64	499,24	0,73	99,85	0,15

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

Tabla 10-3: Límites granulométricos para análisis de áridos

Tamiz	Abertura INEN 154 (mm)	Límite inferior ASTM C 33-84	Límite superior ASTM C 33-84
3/8 "	9,50	100	100
No. 4	4,76	95	100
No. 8	2,38	95	100
No. 16	1,19	80	100
No. 30	0,59	50	85
No. 50	0,30	25	60
No. 100	0,15	10	30
No. 200	0,08	2	10

Fuente: (Demera & Romero, 2018)

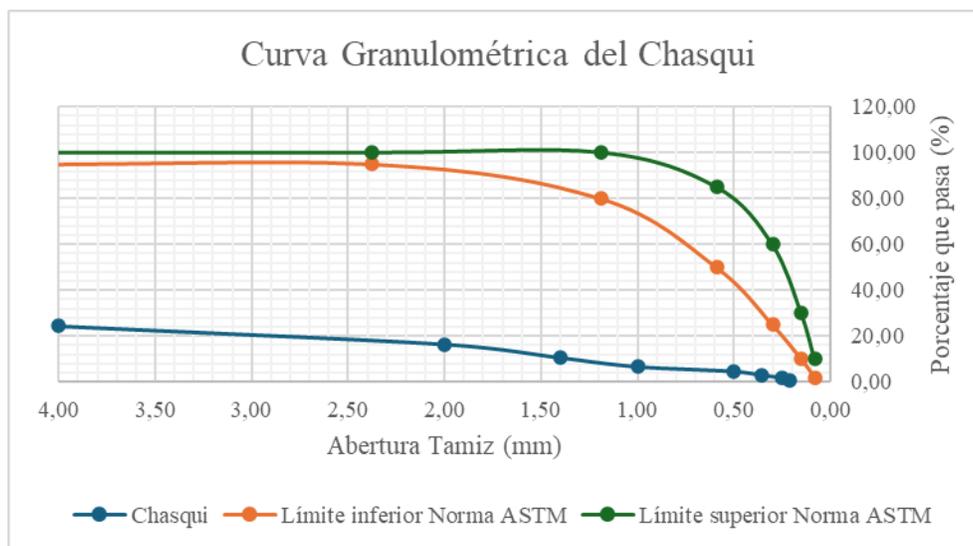


Gráfico 5-3: Granulometría del chasqui

Realizado por: Guaypacha, D., 2024

Interpretación

Mediante los datos obtenidos y expresados en la Tabla 9-3 al realizar el ensayo de granulometría para el chasqui (árido grueso) con los tamices disponibles se elabora el Gráfico 5-3 mostrando que este árido no cumple con ningún requisito de los límites presentados en la Norma ASTM C 33-84 (Tabla 10-3); sin embargo, se lo utilizó como árido grueso para la elaboración de bloques.

En conclusión, en el análisis granulométrico realizado para cada uno de los áridos utilizados en la elaboración de bloques para el presente trabajo de investigación se obtiene que tres áridos finos (macadán, arena y cemento) han cumplido con los requisitos establecidos en la Norma ASTM C 33-84, mientras que el árido grueso y el relave no cumplen con esta. A pesar de lo sucedido se utilizaron todos los áridos debido a que si se les da un proceso de acondicionamiento (módulo de finura, molienda, secado, entre otros) los costos serían mayores.

Discusión

La planta de beneficio “APROPLASMIN” procesa minerales obtenidos de las minas con la finalidad de extraer el metal deseado que representa un beneficio económico, como consecuencia de la actividad realizada se tiene como residuo el relave minero que no es utilizado y que se lo desecha a la intemperie, acumulándose y provocando que se generen montañas de este ocasionando

una contaminación visual que es de mal gusto para el turismo en Zaruma. Para resolver esta problemática se recolectaron muestras de la planta de beneficio con el fin de caracterizarlas y comprobar si el relave puede ser utilizado como parte de los áridos en la fabricación de bloques de hormigón.

Al realizar la caracterización del relave se obtuvo como resultado que los metales que se encuentran presentes en su composición son: Ca, Cu, Mn, Mg, Pb, K y Zn, considerados metales pesados por lo tanto deben de ser tratados antes de ser desechados, el metal de mayor importancia en el área de la mampostería es el Pb debido a que es peligroso para la salud cuando en el cuerpo humano se presenta una cantidad mayor a 5 µg/dL, es por ello que al elaborar los bloques con relave se realizaron pruebas de contenido de Pb para evaluar si llegaba a ser nocivo. Por medio de los resultados obtenidos se sabe que la mayor concentración de Pb se encuentra en 2,2130 mg/L que en comparación con los presentados por (Enríquez et al., 2022) con 0,001 mg/L resulta tener una mayor concentración pero no resultando nocivos para la salud porque al utilizar los bloques en alivianamientos de losas (Bloques Clase C) se hace uso de hormigón creando una capa que rodea a estos por lo que no existe un contacto directo al usarlos en las edificaciones; por ello se recalca también que el factor del que depende este valor es del tipo de relave con el que se trabaja debido a que son diferentes dependiendo del origen del relave y la dosificación que reciban, por último se debe tener en cuenta que los resultados presentados en el estudio realizado por (Enríquez et al., 2022) son para la utilización del relave en la elaboración de adoquines utilizando diferentes proporciones variando de manera única el porcentaje de la arena.

Cabe resaltar que el relave que se utilizó en el presente trabajo de investigación no tiene un tratamiento previo es por este motivo que contienen una alta concentración de los metales que se presentan en el mismo, por lo tanto en la elaboración de bloques se lo utilizó únicamente realizando un proceso de secado antes de incluirlo en la mezcla con los demás componentes del bloque, en el estudio realizado por (Frías & Chicaiza, 2017) se observa que al utilizar diferentes residuos en la fabricación de bloques, estos presentarían distintos comportamientos dado que cada elemento que se agregue en la composición de ellos no actuarán de la misma manera; obteniendo así que al usar poliestireno expandido granular y tusa de maíz triturado como sustituto del árido grueso para elaboración de bloques de Clase C tienen valores de resistencia a la compresión de 2,37 MPa y 2,035 MPa que son menores que los bloques fabricados de manera artesanal teniendo 2,605 MPa pero cumpliendo con la Norma INEN 3066 Bloques de Hormigón Requisitos y Métodos de Ensayo

mientras que los fabricados con relave en el presente trabajo de titulación presentan valores mayores y menores a los fabricados artesanalmente, pudiendo deducir así que las dosificaciones 3 y 4 con 15 % y 20 % de relave con un rendimiento alto son aptos para el uso en la fabricación de bloques de Clase C usado en alivianamientos de losas.

Los mejores resultados de todas las dosificaciones planteadas se obtuvieron en la dosificación 4 con una cantidad del 15 % de relave, presentando una resistencia a la compresión de 3,91 MPa y densidad de 2333,33 kg/m³, siendo superiores a los obtenidos en el estudio realizado por Vinueza et al., 2021 en donde introdujeron piedra PET y fibra de maguey, donde manifestó resultados favorables de resistencia a la compresión 2,8 MPa y densidad superior a los 2000 kg/m³ para bloques de Clase C. Pero por los demás factores que se mencionan a continuación la dosificación que se acopla de mejor manera es la dosificación 3 con 10 % de relave que muestra que la resistencia a la compresión es de 3,53 MPa, densidad de 2351,35 kg/m³ y contenido de plomo de 0,1103 ppm cumpliendo con las Norma INEN 3066 y con la concentración más baja de plomo para que no presente afecciones en la salud.

Conclusiones

- Se fabricaron bloques de cemento clase C utilizando 6 tipos de dosificaciones donde se agregó como parte de los áridos los relaves mineros que generan las plantas de beneficio APROPLASMIN de Zaruma – Portovelo, obteniendo que al introducir el 15 % de relave en la composición de bloques prefabricados presentaron mejores propiedades que las impuestas como requisitos en la Norma NTE INEN 3066 Bloques de Hormigón Requisitos y Métodos de Ensayo.
- Se caracterizaron las muestras de relaves tomadas de las plantas de beneficio de Zaruma – Portovelo en base a la Norma Técnica NTE INEN 872-1982-12 Áridos para Hormigón Requisitos, para analizar si es posible introducirlo en la fabricación de mampostería obteniendo que el relave de dicha planta si es apto para agregarlo como árido fino en la composición de bloques prefabricados.
- Se diseñó experimentalmente 7 tipos de dosificaciones para fabricar bloques de hormigón usando como áridos al chasqui, macadán, cemento y arena y agregando diferentes porcentajes de relave, con la finalidad de obtener la dosificación que presente mejores

propiedades físicas, químicas y mecánicas que cumplan con los requisitos de la Norma NTE INEN 3066 Bloques de Hormigón Requisitos y Métodos de Ensayo para bloques de clase C, teniendo como propiedades primordiales la resistencia a la compresión, la densidad y el contenido de plomo.

- Se caracterizaron los bloques de cemento fabricados sin relave y con relave basándose en la Norma Técnica NTE INEN 3066, 2016 – 11 Bloques de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo para bloques de clase C, de la cual se realizaron las pruebas y los cálculos permitientes para la obtención de los valores de resistencia a la compresión, densidad, absorción de agua, porcentaje de humedad y porcentaje de sólidos, además como un análisis extra se realizó la prueba de contenido de plomo presente en cada bloque con la finalidad de conocer su comportamiento obteniendo que no representan problemas en la salud.
- Se aplicó el método estadístico Chi – cuadrado para la discriminación de datos de la investigación, mediante el cual se obtuvo como resultado de la dosificación 3 $0,33 < 12,5916$ para resistencia a la compresión y $147,1396 > 12,5916$ para densidad, lo que permite evidenciar que se cumplen las relaciones de $X_C^2 < X_{Crit}^2$ y $X_C^2 > X_{Crit}^2$ demostrando la existencia de dependencia de tiempo y cantidad de relave presente en los bloques en la propiedad de resistencia a la compresión y de densidad para todas las dosificaciones pero en particular para la dosificación 3 que fue el que mejores resultados presentó.

Referencias

1. Alomoto, M., & Mejillones, K. (2022). Estudio comparativo de 3 tipos de espumantes para la fabricación de hormigón celular de densidad de 800 Kg/m³ (D800) en Santa Elena [Tesis, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9219>
2. Balegamire, C., Nkuba, B., & Dable, P. (2022). Production of gold mine tailings based concrete pavers by substitution of natural river sand in Misisi, Eastern Congo. *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100427. <https://doi.org/10.1016/J.CLET.2022.100427>
3. Barzegar-Ghazi, A., Jamshidi-Zanjani, A., & Nejati, H. (2022). Utilization of copper mine tailings as a partial substitute for cement in concrete construction. *Construction and*

- Building Materials, 317, 125921.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.125921>
4. Baza-Varas, A., Roqué-Rosell, J., Canals, M., Frigola, J., Cerdà-Domènech, M., Sanchez-Vidal, A., Amblàs, D., Campeny, M., & Marini, C. (2023). As and S speciation in a submarine sulfide mine tailings deposit and its environmental significance: The study case of Portmán Bay (SE Spain). *Science of the Total Environment*, 882. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163649>
 5. Blanco, E. A. (2016). Tecnología mineralúrgica Plantas de áridos. In *Materiales de construcción*. https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2439/course/section/2474/11._plantas_de_aridos.pdf
 6. Cabezas, M. (2014). Elaboración de un manual de procesos constructivos del adoquinado [Tesis de licenciatura, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7225>
 7. Cando, C. (2019). La adición de bolsas plásticas en la elaboración de bloques alivianados para viviendas unifamiliares y su efecto en la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua [Tesis, Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30023>
 8. Chávez, Á., Guarín, N., & Cortes, M. (2013). Determinación de propiedades físico-químicas de los materiales agregados en muestra de escombros en la ciudad de Bogotá D.C. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 12(22), 45–58. <file:///C:/Users/HP%20Vision/Desktop/Dialnet-DeterminacionDePropiedadesFisicoquimicasDeLosMater-4738869.pdf>
 9. Ciancaglini-Prosap, N. (2010). Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf
 10. Coello, C. (2005). Monografías de rocas industriales. Arenas y gravas (1st ed., Vol. 44). Instituto Geológico y Minero de España. https://info.igme.es/SidPDF/064000/842/64842_0001.pdf

11. Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía. (2021). COGUANOR NTG 41054. <http://greblock.com/wp-content/uploads/2022/03/NTG-41054-Bloques-huecos-de-concreto-para-muros.-Especificaciones.pdf>
12. Cruz, E., & Sotomayor, J. (2022). Utilización del relave minero para fabricación de bloques perforados de concreto en Puno - 2022 [Tesis, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/28506>
13. Demera, S., & Romero, B. (2018). Evaluación del uso de los residuos de cascarilla de arroz (*Oryza sativa* L.) como agregado en bloques para la construcción [Tesis, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/807>
14. Díaz De León, T. (2016). Población y Muestra. <https://core.ac.uk/download/pdf/80531608.pdf>
15. Dominguez-Santos, D. (2021). Rendimiento estructural de bloques de hormigón con agregados de madera para la construcción de edificios de mediana y gran altura. *Informes de La Construcción*, 73(564), e414–e414. <https://doi.org/10.3989/IC.81319>
16. Energías y minas. (2017). Los áridos y el cemento El recorrido de los minerales. Dirección General de Industria, Energía y Mina. https://www.academia.edu/8930639/LOS_%C3%81RIDOS_Y
17. 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. <https://geolatitud.geoenergia.gob.ec/ojs/ojs/index.php/GeoLatitud/article/download/114/101/>
18. Enriquez, K., & Jurado de la Cruz, J. (2023). Influencia del uso de relave minero en largueros de concreto para muros de contención tipo criba [Tesis, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/unh/5588>
19. Flores, M. (2023). Análisis del módulo de elasticidad estático del hormigón en base a su resistencia a la compresión, fabricado con materiales de las minas de Pungal Grande y Miraflores, ubicados en el cantón Guano provincia de Chimborazo [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/38169>

20. Frías, A., & Chicaiza, V. (2017). Análisis comparativo de la resistencia a compresión entre bloques tradicionales y bloques elaborados con poliestireno expandido granular y bloques elaborados con tusa de maíz triturado como sustituto parcial del agregado grueso [Tesis, Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26499>
21. Gallegos, A. (2015). Diseño de la mezcla de hormigón alivianado usando piedra pómez de Latacunga. Aplicación a la fabricación de paneles prefabricados no estructurales [Tesis de grado, ESPE]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11441/1/T-ESPE-049151.pdf>
22. Gallegos, W., Vega, M., & Noriega, P. (2012). Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. LA GRANJA. Revista de Ciencias de La Vida, 15(1), 18–25. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476047399003>
23. Gamboa de León, O. (2005). Optimización del proceso de fabricación de bloques de concreto del estándar 15x20x40 cm con grado de resistencia 28 kg/cm², caso específico fuerte-block máquinas #1 y #2 [Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1468_IN.pdf
24. Gamboa, E. D. (2022). Estudio de mampuestos a base de la reutilización de desechos producto de demoliciones encontrados en los diferentes botaderos del cantón Ambato, provincia de Tungurahua [Tesis, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/36202>
25. García, P. D. (2019). Muros de bloques y ladrillos de hormigón. <https://www.andece.org/wp-content/uploads/2019/07/Gu%C3%ADa-T%C3%A9cnica-Muros-de-bloques-y-ladrillos-de-horming%C3%B3n.V1.pdf>
26. González, E., Jaízme, E., Jubera, J., Torres, M., & Sánchez, V. (2019). Incorporation of the polyurethane pellet waste for the improvement of the thermal insulation of nonstructural concrete blocks. *Dyna (Spain)*, 94(4), 401–408. <https://doi.org/10.6036/8985>
27. Gordillo, T., Herrera, C., Poretti, A., & Brunatti, C. (2019). Mampostería de bloques de hormigón AABH-ICPA. In Asociación Argentina del Bloque de Hormigón. <https://icpa.org.ar/wp-content/uploads/2019/04/Mamposteria-de-bloques-de-hormigon-AABH-ICPA.pdf>

28. Gudiel, A. (2013). Diseño de la investigación de la aplicación de gráficos de control para reducir los costos en la producción de bloques de concreto para muros de mampostería [Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2742_IN.pdf
29. Guerrero, X. (2022). Estudio correlacional entre la composición de bloques de mampostería con agregados de caucho reciclado y la rentabilidad de su línea de producción en la fábrica reencauchadora RENCAVI [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22297>
30. Hernández, I. A., Díaz, H. L. M., Morales, F. J. F., Romero, L. R., & Camacho, J. V. (2023). Bioleaching of metal polluted mine tailings aided by ultrasound irradiation pretreatment. *Environmental Technology and Innovation*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103192>
31. Herrera, J. (2022). Canteras de áridos y de minerales industriales. In Canteras de áridos y de minerales industriales. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. <https://doi.org/10.20868/upm.book.70228>
32. HOLCIM. (2024). Agregados Finos Arena Azul Sacos. <https://www.holcim.com.ec/agregados-finosa-arena-azul-sacos>
33. Industrial Mediavilla Cordero S.A. (2018). IMECO S.A. <https://imecosa.com/contenido/wp-content/uploads/MACADAM1.pdf>
34. Lalangui, L., & Méndez, D. (2021). Caracterización de relaves mineros para su aprovechamiento en la fabricación de materiales de construcción [Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/55505/1/T-70718%20LALANGUI%20-%20M%c3%89NDEZ.pdf>
35. Lojano, E., & Proaño, P. (2022). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de adoquines con relave minero generados en la planta de beneficio Campanillas para uso en vías [Tesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/20200>
36. Lojano, G., & Robles, J. (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 [Tesis de grado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12519>

37. Luo, W., Liu, S., Hu, Y., Hu, D., Kow, K. W., Pang, C., & Li, B. (2022). Sustainable reuse of excavated soil and recycled concrete aggregate in manufacturing concrete blocks. *Construction and Building Materials*, 342, 127917. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.127917>
38. Méndez, D., Guzmán-Martínez, F., Acosta, M., Collahuazo, L., Ibarra, D., Lalangui, L., & Jiménez-Oyola, S. (2022). Use of Tailings as a Substitute for Sand in Concrete Blocks Production: Gravimetric Mining Wastes as a Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/su142316285>
39. Mora, G. (2019). Evaluación del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II. Sayán – Lima [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <https://repositorio.unjpsc.edu.pe/handle/20.500.14067/3395>
40. Morán, S. (2018). Prefabricados de concreto, principios y posibilidades. <https://semanadelaconstruccion.camacolvalle.org.co/wp-content/uploads/2018/09/PREFAB.-CONCRETO.pdf>
41. Muciño, A., & Lozada, A. (2018). Granulometría de la arena. http://leias.fa.unam.mx/wp-content/uploads/2018/05/180515_Practica8_W_LMSE.pdf
42. Orna, J. (2019). Implementación de un procedimiento que estime resistencias a compresión en pasta de cemento por termometría, en la empresa Unión Cementera Nacional UCEM S.A -Planta Chimborazo [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/10618/1/96T00525.pdf>
43. Ortiz, D. (2016). Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo (UTMACH). <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS%20Y%20PROCEDIMIENTOS.pdf>
44. Ortiz, E., Orejuela, E., & Ruiz, W. (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*, 4(2), 15. <https://doi.org/10.33936/RIEMAT.V4I2.2189>
45. Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol*, 35(1), 227–232. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>

46. Paguay, E. (2019). La adición de botellas plásticas PET en la elaboración de bloques alivianados para viviendas unifamiliares y su efecto en la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua [Tesis, Universidad Técnica de Ambato].
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30024>
47. Porras, A. (2015). Tipos de muestreo.
<https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/163/1/19-Tipos%20de%20Muestreo%20-%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf>
48. Quevedo, F. (2011). La prueba de ji-cuadrado. *Medwave*, 11(12), e5266–e5266.
<https://doi.org/10.5867/medwave.2011.12.5266>
49. Robalino, E. (2019). Adición de botellas plásticas PET en la elaboración de bloques de abobe para viviendas unifamiliares y su efecto en la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en el cantón Ambato provincia de Tungurahua [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato].
<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30028>
50. Rojas, A. (2020). Propiedades físicas y mecánicas del bloque de concreto artesanal elaborado en el distrito de Cutervo, provincia Cutervo, Cajamarca – 2018 [Tesis de grado, Universidad César Vallejo].
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/41141/Rojas_GA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
51. Rojas, L., & Ventura, L. (2017). Utilización del relave minero para la elaboración de bloques de concreto tipo ensamble [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1326>
52. Sanabria, D. (2006). Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas.
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a3597c23d7e8af4#:~:text=La%20conductividad%20es%20una%20medida,la%20temperatura%20de%20la%20medici%C3%B3n>

53. Sánchez, Y. (2019). Estudio del relave minero de la planta de beneficio Santa Lucía código 191038 del sector La Maravilla de la parroquia Pucará, cantón Pucará, provincia del Azuay, con fines de utilización en morteros de pega de unidades de mampostería [Tesis, Universidad Nacional de Loja]. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/21631>
54. Sernageomin. (2017). Preguntas frecuentes sobre relaves. <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/Preguntas-frecuentes-sobre-relaves.pdf>
55. Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2011). NTE INEN 872-1 Áridos para hormigón. Requisitos [Norma Técnica Ecuatoriana, INEN]. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena/ingenieria-economica/normas-inen-872-535667/6343647>
56. Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2016). NTE INEN 3066 Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo [Norma Técnica Ecuatoriana, INEN]. https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte_inen_3066.pdf
57. Sierra, J. (2014). Análisis comparativo entre bloques de concreto tradicional y bloques de concreto alivianado con poliestireno [Tesis de grado, Universidad Internacional del Ecuador]. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2260/1/T-UIDE-1275.pdf>
58. Toirac, J. (2009). La resistencia a compresión del hormigón, condición necesaria pero no suficiente para el logro de la durabilidad de las obras. *Ciencia y Sociedad*, XXXIV(4), 463–504. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87014516001>
59. Urrutia, N. (2016). Estudio reológico de relaves basado en técnicas de caracterización avanzada de minerales [Tesis de Maestría, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/141074/Estudio-reologico-de-relaves-basado-en-tecnicas-de-caracterizacion-avanzada-de-minerales.pdf?sequence=1>
60. Valdés, G. A., & Rapimán, J. G. (2007). Propiedades Físicas y Mecánicas de Bloques de Hormigón Compuestos con Áridos Reciclados. *Información Tecnológica*, 18(3). <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v18n3/art10.pdf>
61. Valentinuzzi, M. (2008). Análisis por fluorescencia de rayos X: Implementación de guías de haces en reflexión total [Tesis, Universidad Nacional de Córdoba]. <https://www.famaf.unc.edu.ar/documents/1019/DFis130.pdf>
62. Vargas, R. (2009). Guía para la descripción de suelos. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>

63. Vargas, V. (2021). Análisis de las variables operacionales en el proceso de mina a planta para el mejoramiento de la producción en tiempo de crisis en DOE RUN Perú SRL en liquidación - Mina Cobriza 2021 [Tesis, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11375>
64. Vásquez, E., & Rojas, T. (2016). pH: Teoría y 232 Problemas (Primera Edición) [Universidad Autónoma Metropolitana]. <http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf>
65. Villacis, E., Luna, G., Orbe, L., Zúñiga, P., Nates, J., Velástegui, E., & Santacruz, W. (2020). Dosificación para elaborar bloques huecos de hormigón que cumplan con la actual NTE INEN 3066. Revista Tecnológica - ESPOL, 32(1), 7. <https://doi.org/10.37815/rte.v32n1.688>
66. Vinueza, N., Macancela, M., & Valle, A. (2021). Diseño de modelo de bloque ecológico con mezcla de fibra de maguey y polietileno tereftalato (pet). Polo Del Conocimiento, 6(7), 1231–1253. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i7.2918>
67. Vitti, C., & Arnold, B. J. (2022). The Reprocessing and Revalorization of Critical Minerals in Mine Tailings. Mining, Metallurgy and Exploration, 39(1), 49–54. <https://doi.org/10.1007/S42461-021-00524-6>
68. Zapata, J. (2019). Porosidad y aireación densidad real y aparente. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42969/mod_resource/content/1/POROSIDAD%20Y%20AIREACION%2026-3-19.pdf
69. Zhang, Y., Li, Z., Gu, X., Nehdi, M. L., Marani, A., & Zhang, L. (2023). Utilization of iron ore tailings with high volume in green concrete. Journal of Building Engineering, 72, 106585. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.106585>
70. Zupunski, L., Street, R., Ostroumova, E., Winde, F., Sachs, S., Geipel, G., Nkosi, V., Bouaoun, L., Haman, T., Schüz, J., & Mathee, A. (2023). Environmental exposure to uranium in a population living in close proximity to gold mine tailings in South Africa. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 77. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2023.127141>