



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional De Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Minas

**Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de
hormigón en la planta de beneficio “Playitas”, Sector El Salado, Cantón
Portovelo, Provincia de El Oro**

**Trabajo de Integración
Curricular previo a la obtención
del título de Ingeniero en Minas.**

AUTOR:

Stillman Daniel Chinchay Ortega

DIRECTOR:

Ing. Diego Israel Castillo Jaramillo. Mg. Sc

Loja – Ecuador

2025

Certificación de director



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **CASTILLO JARAMILLO DIEGO ISRAEL**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado "**Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón en la planta de beneficio "Playitas", Sector El Salado, Cantón Portovelo, Provincia de El Oro**", perteneciente al estudiante **STILLMAN DANIEL CHINCHAY ORTEGA**, con cédula de identidad N° **1150211967**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 23 de Enero de 2025



Este certificado es por:
DIEGO ISRAEL
CASTILLO JARAMILLO

F) _____
**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**



Certificado TIC/TT.: UNL-2025-000023

1/1
Educamos para Transformar

Autoría

Yo, **Stillman Daniel Chinchay Ortega**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo.

Adicionalmente, autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de Identidad: 1150211967

Fecha: 30 de enero de 2025

Correo electrónico: stillman.chinchay@unl.edu.ec

Teléfono: +593 985579037

Carta de Autorización

Yo, Stillman Daniel Chinchay Ortega, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón en la planta de beneficio “Playitas”, Sector El Salado, Cantón Portovelo, Provincia de El Oro, como requisito para optar por el título de Ingeniero en Minas, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional. Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes informáticas del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los treinta días del mes de diciembre del dos mil veinticinco.



Firma:

Cédula de Identidad: 1150211967

Dirección: Loja, Antonio Canaleto (Cdla. Sauces Norte)

Correo electrónico: stillman.chinchay@unl.edu.ec

Teléfono: +593 985579037

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Diego Israel Castillo Jaramillo,
Mg. Sc

Dedicatoria

El presente trabajo lo dedico a mis padres Karina y Newman, de especial manera, ya que, sin su esfuerzo, sacrificio y cariño, han sido un impulso y motivación para poder culminar con este proyecto de investigación. Su consejo y paciencia a lo largo de mi vida académica han sido mi inspiración para seguir adelante cada día.

A mi hermana Romina, que siempre me ha acompañado y apoyado, siendo mi compañera de vida, motivo de inspiración.

A mis abuelos maternos y paternos que siempre han creído en mí, en los momentos más difíciles, así como también en los mejores, de especial manera a Margarita y Víctor, que desde el cielo siempre me han bendecido y guiado en cada paso que doy.

Stillman

Agradecimiento

Principalmente agradezco a Dios, por la vida y salud, por guiarme en todos los momentos de mi vida

A mis padres, que siempre han sido mi apoyo incondicional en cada uno de los momentos de mi vida, especialmente guiándome y dándome fuerza en los momentos más difíciles. A mi hermana que siempre ha confiado en mí, a mis abuelos especialmente a Víctor y Margarita, que cada uno de sus consejos fueron inspiración para llenarme de fuerza.

A mi director de trabajo de integración curricular Ing. Diego Castillo, por su orientación experta y compromiso en cada una de las etapas de este proyecto, cuya enseñanza y dedicación han sido cruciales para la culminación del presente trabajo.

A todos los docentes por su trabajo y dedicación en la enseñanza y su apoyo a la academia. Igualmente, a esta prestigiosa institución, la Universidad Nacional de Loja por haberme dado la oportunidad de formar parte de la misma.

Mi gratitud hacia el Ing. Roque Maldonado, quien me abrió las puertas de la Planta de Beneficio “Playitas”, igualmente al Sr. Darwin, por la colaboración y ayuda prestada en cada ocasión que visite la planta de beneficio.

Índice de Contenidos

Portada	i
Certificación de director	i
Autoría	ii
Carta de Autorización	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de Contenidos	vii
Índice De Figuras:	x
Índice de tablas:	xii
Índice de Anexos:	xiv
1. Título	15
2. Resumen	16
2.1 Abstract.....	17
3. Introducción	18
4. Marco Teórico	20
4.1. Proceso de Tratamiento y Beneficio Mineral	20
4.1.1. Conminución	21
4.1.2. Concentración.....	22
4.1.3. Índices metalúrgicos	22
4.2. Tipos de residuos mineros	22
4.2.1. Residuos sólidos	23
4.2.2. Residuos líquidos.....	23
4.2.3. Residuos gaseosos	23
4.3. Relave minero	23
4.3.1. Definición y composición	23
4.3.2. Tipos de relaves mineros	24
4.3.3. Disposición final de los relaves.....	24
4.4. Propiedades de los relaves	25
4.4.1. Propiedades físicas	25
4.4.2. Propiedades químicas	26
4.4.3. Análisis mineralógico	26
4.5. Áridos	27
4.5.1. Propiedades físicas	27
4.5.2. Propiedades químicas de los áridos	28
4.5.3. Propiedades mineralógicas de los áridos	28

4.6. Muestreo	28
4.6.1. Métodos de muestreo	29
4.7. Hormigón o concreto	30
4.7.1. Componentes del hormigón	30
4.8. Diseño del hormigón	33
4.9. Métodos para el diseño de hormigones	34
4.9.1. Método ACI	34
4.9.2. Método Fuller-Thompson	35
4.9.3. Método Bolomey	36
4.9.4. Método de Faury.....	37
4.10. Propiedades del hormigón	38
4.10.1. Propiedades del hormigón fresco	38
4.10.2. Propiedades del hormigón endurecido.....	39
4.11. Durmientes mineros.....	40
4.11.1. Tipos de durmientes.....	40
4.12. Diseño de un durmiente minero.	40
4.12.1. Diseño de un durmiente de madera	41
4.12.2. Diseño de durmientes de hormigón	41
4.13. Análisis de precios unitarios	41
5. Metodología	43
5.1. Ubicación y acceso del área de estudio	43
5.1.1. Ubicación	43
5.1.2. Acceso.....	43
5.2. Materiales.....	45
5.3. Procedimiento de trabajo	45
5.4. Metodología del Primer Objetivo.....	46
5.4.1. Muestreo de los materiales componentes del hormigón	46
5.4.2. Propiedades del relave minero	47
5.4.3. Propiedades de los áridos y pétreos.....	48
5.4.4. Propiedades del material combinado	49
5.4.5. Características del cemento.....	50
5.5. Metodología para el Segundo Objetivo	50
5.5.1. Método ACI-318	50
5.5.2. Diseño experimental	54
5.5.3. Propiedades Físico -mecánicas del hormigón.....	54
5.6. Metodología para el Tercer Objetivo	55
5.6.1. Dimensiones y especificaciones de los durmientes mineros.	55
5.6.2. Diseño del durmiente de hormigón.	56
5.6.3. Diseño de un durmiente de madera.	57

5.6.4. Evaluación económica	57
6. Resultados.....	58
6.1. Resultado del Primer Objetivo	58
6.1.1. Muestreo de los materiales.....	58
6.1.2. Propiedades del relave minero	58
6.1.3. Propiedades del agregado fino	61
6.1.4. Propiedades del agregado grueso	64
6.1.5. Propiedades del material combinado	66
6.1.6. Propiedades del cemento.....	68
6.2. Resultados del segundo objetivo	68
6.2.1. Diseño del hormigón patrón sin relave	68
6.2.2. Diseño del hormigón patrón con relave minero.	71
6.2.3. Propiedades físico-mecánicas del hormigón	74
6.3. Resultados del tercer objetivo	76
6.3.1. Diseño del durmiente de hormigón.	76
6.3.2. Diseño de un durmiente de madera.	81
6.3.3. Análisis económico en la fabricación de los durmientes.	86
7. Discusión de Resultados	90
8. Conclusiones	95
9. Recomendaciones	98
10. Bibliografía	99
11. Anexos.....	104

Índice De Figuras:

Figura 1. Etapas del procesamiento de minerales	20
Figura 2. Tipos de relaves.....	24
Figura 3. Muestreo aleatorio simple.....	29
Figura 4. Muestreo sistemático	29
Figura 5. Muestreo estratificado	30
Figura 6. Arena fina.....	32
Figura 7. Grava	32
Figura 8. Agua.....	32
Figura 9. Diseño de hormigón armado	33
Figura 10. Métodos de diseño de hormigón	34
Figura 11. Características del método ACI.....	35
Figura 12. Características del Método Fuller – Thompson	36
Figura 13. Características del método de Bolomey	37
Figura 14. Procedimiento del método Faury	37
Figura 15. Valores de asentamiento del cono de Abrams	38
Figura 16. Ubicación de la planta de beneficio "Playitas"	43
Figura 17. A) Acceso vía terrestre desde Quito hasta Portovelo. B) Acceso vía terrestre desde Loja (Chinchas- Portovelo).....	44
Figura 18. Recepción de la muestra de relave minero	47
Figura 19. Ensayo de conductividad, salinidad y pH.....	48
Figura 20. Resistencia a la compresión media requerida.	51
Figura 21. Probeta de hormigón.....	55
Figura 22. Vigas de hormigón	55
Figura 23. Curva granulométrica del relave minero	59
Figura 24. Muestra analizada por ensayo FRX.....	60
Figura 25. Resultados cuantitativos, mediante ensayo DRX.....	61
Figura 26. Curva granulométrica del agregado fino	62
Figura 27. Curva granulométrica del agregado grueso.	64
Figura 28. Curva granulométrica del agregado fino	67
Figura 29. Dosificación idónea en peso, durmiente sin relave	71
Figura 30. Dosificación idónea de hormigón compuesto.....	74
Figura 31. Esquema del durmiente diseñado	77
Figura 32. Esquema de cargas del durmiente de madera.	83

Figura 32. Recolección de muestras de agregados.....	108
Figura 33. Recolección de muestras de la planta de beneficio "Playitas"	108
Figura 34. Ensayo del contenido de humedad del relave minero	108
Figura 35. Granulometría del relave minero.....	109
Figura 36. Ensayo de densidad real del relave minero.....	109
Figura 37. Análisis de conductividad, salinidad y pH de los materiales componentes del hormigón.....	109
Figura 38. Recepción de las muestras en el laboratorio Golden Labs, para determinar la ley mineral del relave minero.	110
Figura 39. A) Cuarteo del agregado fino; B) Cuarteo del agregado grueso.	110
Figura 40. Contenido de humedad de los agregados.....	110
Figura 41. Análisis granulométrico de los agregados fino y grueso.	111
Figura 42. Aplicación de la Norma ASTM C-29, de los agregados componentes del hormigón patrón.....	111
Figura 43. Análisis de las densidades del agregado grueso.....	111
Figura 44. Aplicación de la Norma ASTM C-127.....	112

Índice de tablas:

Tabla 1. Normas ASTM densidad de los agregados.	28
Tabla 2. Componentes del hormigón	31
Tabla 3. Componentes del cemento	31
Tabla 4. Ensayo a la flexión del hormigón.....	39
Tabla 5. Coordenadas del área de estudio.....	43
Tabla 6. Materiales a utilizar.....	45
Tabla 7. Normas ASTM densidad de los agregados.	49
Tabla 8. Relación a/c, según la resistencia	51
Tabla 9. Volumen de agregado grueso	51
Tabla 10. Revenimiento recomendado para varios tipos de construcción.....	52
Tabla 11. Requerimientos de mezclado de aire y agua incluido	52
Tabla 12. Parámetro de resistencia	54
Tabla 13. Parámetros a evaluar para el diseño del durmiente de hormigón.	56
Tabla 14. Parámetros de evaluación para el diseño del durmiente de madera.....	57
Tabla 15. Coordenadas de muestreo de relave minero	58
Tabla 16. Coordenadas de muestreo de los agregados	58
Tabla 17. Contenido de humedad del relave minero.....	59
Tabla 18. Peso específico aparente del relave.....	59
Tabla 19. Propiedades químicas del relave minero	60
Tabla 20. Leyes minerales de Oro, Plata y cobre.....	61
Tabla 21. Contenido de humedad del agregado fino.....	61
Tabla 22. Peso unitario suelto del agregado fino	62
Tabla 23. Peso unitario compactado del agregado fino	62
Tabla 24. Densidad y porcentaje de absorción.....	63
Tabla 25. Conductividad, salinidad y pH del agregado fino.....	63
Tabla 26. Análisis microscópico del agregado fino.	63
Tabla 27. Contenido de humedad del agregado grueso.....	64
Tabla 28. Densidad en estado SSS	65
Tabla 29. Peso unitario suelto del agregado grueso.	65
Tabla 30. Peso unitario compactado del agregado grueso.....	65
Tabla 31. Conductividad, salinidad y pH del agregado fino.....	65
Tabla 32. Descripción mineralógica del agregado grueso.	66
Tabla 33. Peso unitario suelto del agregado fino más relave.....	67

Tabla 34. Peso unitario compactado del agregado fino	67
Tabla 35. Densidad y porcentaje de absorción.....	68
Tabla 36. Conductividad, salinidad y pH del agregado fino.....	68
Tabla 37. Propiedades del cemento HOLCIM.....	68
Tabla 38. Datos de los materiales.....	69
Tabla 39. Parámetros de diseño de hormigón común.....	69
Tabla 40. Dosificación del hormigón patrón	70
Tabla 41. Corrección de la dosificación de la arena y grava.	71
Tabla 42. Datos de los materiales.....	72
Tabla 43. Parámetros de diseño de hormigón común.....	72
Tabla 44. Dosificación del hormigón patrón	73
Tabla 45. Corrección de la dosificación de la arena y grava.	74
Tabla 46. Asentamiento del hormigón.....	74
Tabla 47. Densidad del hormigón fresco.	75
Tabla 48. Densidad del hormigón endurecido.	75
Tabla 49. Resistencia a la compresión simple del hormigón.....	75
Tabla 50. Resistencia a la flexión.....	76
Tabla 51. Datos del diseño de durmiente de hormigón	76
Tabla 52. Datos del diseño del durmiente de madera.....	82
Tabla 53. Análisis de precios unitarios de la madera por metro.	86
Tabla 54. Rubro de elementos de ajuste del durmiente de madera.	87
Tabla 55. Costo de fabricación de un durmiente de madera.....	87
Tabla 56. Análisis de precios unitarios del hormigón.	87
Tabla 57. Análisis por kg de acero.	88
Tabla 58. Precios de los elementos de sujeción.	88
Tabla 59. Costo de fabricación de un durmiente de hormigón.....	88
Tabla 60. Comparativa de costos a largo plazo.....	89

Índice de Anexos:

Anexo 1. Fichas de muestreo del material componente del hormigón.	104
Anexo 2. Registro fotográfico general.	108
Anexo 3. Ficha de análisis granulométrico del relave minero.....	113
Anexo 4. Ficha del análisis de densidad del relave minero.....	114
Anexo 5. Ficha de contenido de humedad del relave minero.....	114
Anexo 6. Estudio de fluorescencia de rayos x.....	115
Anexo 7. Análisis mineralógico por difracción de rayos x.	116
Anexo 8. Leyes minerales del relave minero estudiado.....	117
Anexo 9. Granulometría del árido fino.....	118
Anexo 10. Granulometría del árido grueso.....	119
Anexo 11. Aplicación de la Norma ASTM C-29, para agregado grueso.....	120
Anexo 12. Aplicación de la Norma ASTM C-29, en el material combinado.....	121
Anexo 13. Normas ASTM C-128 y ASTM C-127.....	122
Anexo 14. Granulometría del material combinado.....	123
Anexo 15. Ensayo de sulfatos del material combinado.	124
Anexo 16. Estudio de abrasión del agregado grueso.....	125
Anexo 17. Estudio de sulfatos del agregado fino.....	126
Anexo 18. Análisis granulométrico del material combinado.....	127
Anexo 19. Densidad aplicando la Norma ASTM C-29, al material combinado. ..	128
Anexo 20. Dosificación de hormigón simple de 35MPa.....	129
Anexo 21. Dosificación del hormigón con 30 % de relave minero, de 35 MPa....	130
Anexo 22. Resistencia de las probetas de hormigón a los 7 días.....	131
Anexo 23. Resistencia a la compresión a los 28 días.....	132
Anexo 24. Diseño del durmiente de madera diseñado.	133
Anexo 25. Diseño del durmiente de hormigón pretensado.	134
Anexo 26. Análisis de precios unitarios de la madera de Yumbingue.....	135
Anexo 27. Análisis de precios unitarios de los elementos de sujeción en los durmientes de madera.	136
Anexo 28. Análisis de precios unitarios del hormigón $f'c=35$ MPa.	137
Anexo 29. Análisis de precios unitarios de los elementos de sujeción en los durmientes de hormigón.	138
Anexo 30. Análisis de precios unitarios del acero pretensado.	139
Anexo 31. Certificado de traducción.....	140

1. Título

“Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón en la planta de beneficio “Playitas”, Sector El Salado, Cantón Portovelo, Provincia de El Oro”

2. Resumen

La presente investigación titulada “Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón en la Planta de Beneficio “Playitas”, sector El Salado, cantón Portovelo, provincia de El Oro”, se desarrolló en base a análisis cualitativos y cuantitativos, partiendo por una fase de campo la misma que se centró en la recolección de muestras y material para el desarrollo de la investigación en la relavera de la Planta de Beneficio Playitas y en el área minera Luis 3, de materiales pétreos, ubicada a un kilómetro de la planta de beneficio, posterior a ello en la fase de laboratorio se determinó las diferentes propiedades de los materiales que componen el hormigón patrón con y sin la aplicación de relave minero, el diseño de los durmientes de hormigón y, la redacción de los datos obtenidos y calculados.

Primeramente, se llevó a cabo la caracterización de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los materiales componentes del hormigón, es decir, de la arena, grava y relave minero, este análisis permitió evaluar sus características a partir de ensayos de laboratorio tomando como base las normativas ASTM, correspondientes para cada ensayo.

Posteriormente para diseñar la mezcla de hormigón patrón con y sin la adición de relave minero principalmente se tomó en consideración las propiedades anteriormente estudiadas y por medio de la aplicación de la Norma ACI-318, se procedió a evaluar la dosificación de hormigón. Estas mezclas se sometieron a ensayos físicos para evaluar la densidad del hormigón fresco y endurecido, así como la trabajabilidad, y, ensayos mecánicos a fin de evaluar la resistencia a la compresión simple y a la flexión del hormigón diseñado.

Finalmente se diseñó un prototipo de durmiente de hormigón tomando como base las especificaciones y recomendaciones establecidas por la Norma AREMA, para el diseño de durmientes de hormigón y de madera, los diseños fueron calculados independientemente para hormigón y madera, finalmente se desarrolló un análisis económico de cada tipo de durmiente estableciendo una comparación de valores.

Palabras clave: Relave minero, hormigón, durmientes, madera.

2.1 Abstract

The present investigation titled “Utilization of Mining Tailings in the Production of Concrete Sleepers at the Playitas Beneficiation Plant, located in El Salado sector, Portovelo Canton, El Oro Province”, was developed based on qualitative and quantitative analysis, starting with a field phase which focused on the collection of samples and material for the development of the research in the tailings pond of the Playitas Beneficiation Plant and in the mining area Luis 3 of stone materials, located one kilometer from the processing plant. After that, in the laboratory phase, the different properties of the materials that make up the standard concrete with and without the application of mining tailings, the design of the concrete sleepers and the drafting of the data obtained and calculated were determined.

First, the physical, chemical and mineralogical properties of the concrete component materials like sand, gravel and mining tailings, were characterized. This analysis allowed evaluating their characteristics from laboratory tests based on ASTM standards, corresponding to each test.

Subsequently, in order to design the standard concrete mix with and without the addition of mining tailings, the properties previously studied were taken into consideration, applying the ACI-318 standard, the concrete dosage was evaluated. These mixtures were subjected to physical tests to assess the density of the fresh and hardened concrete as well as the workability, and mechanical tests to evaluate the strength of the designed concrete against simple compression and bending. Finally, a prototype concrete sleeper was designed based on the specifications and recommendations set by the AREMA standard, for the design of concrete and wood sleepers, the designs were calculated independently. Finally, an economic analysis of each type of sleeper was developed by establishing a comparison of values.

Keywords: Mining tailings, concrete, sleepers, wood.

3. Introducción

En Ecuador, con la presencia de 171 plantas de beneficio, en referencia a estudios realizados en el año 2021, la mayoría de ellas se localizan en la provincia de El Oro representando un total de 57 %, el 43 % restante se encuentra distribuido en las provincias de Zamora, Tungurahua, Cotopaxi y Guayas (Delaune y Costa, 2021). En el cantón Portovelo, existen 85 concesiones mineras en trámite e inscritas hasta el 2023, según lo establecido por el Gad Municipal del cantón Portovelo (2023), mismo que establece la importancia de la minería en el cantón considerándola como la principal actividad económica. Pese a su importancia social y económica la industria minera genera grandes volúmenes de residuos, uno de ellos los relaves mineros los cuales representan un desafío ambiental y técnico. (Hildebrandt et al., 2019).

El manejo adecuado de este material y políticas ambientales desarrolladas en la zona y de manera especial en la planta de beneficio "Playitas", han sido cruciales para la conservación ambiental del sector, pese a ello la disposición final de estos residuos y el exceso de ellos genera un problema. (González y Martínez, 2021). En respuesta a esta problemática, la presente investigación pretende aprovechar el relave minero generado en la planta de beneficio "Playitas", ubicada en el sector El Salado, como agregado en la fabricación de durmientes de hormigón. Se podría reducir este tipo de desechos mineros mediante la combinación de este material como un agregado para la construcción y, de manera simultánea ofrecer una alternativa estructural para el diseño de durmiente elaborados a base e hormigón

Mediante el análisis de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas del relave, y de los demás agregados que componen el hormigón, posterior a ello se diseñara el mismo y se evaluara su resistencia física y mecánica. Además, tomando en cuenta las características de los durmientes tradicionales se comparará sus características, con el fin de validar su factibilidad en términos de calidad y seguridad estructural.

Promoviendo un enfoque de economía circular esta investigación busca evaluar como mediante la utilización del relave en la industria de la construcción, se pretende incentivar su reutilización. Así, contribuyendo con el cuidado del ambiente se puede implementar una solución innovadora al excedente del relave minero, de las plantas de beneficio, además de fomentar practicas mas sostenibles en el sector.

Según lo anteriormente descrito y para el desarrollo del presente proyecto de integración curricular, se han propuesto los siguientes objetivos a desarrollarse:

Objetivos

Objetivo General

- Aprovechar los relaves mineros como agregados en la fabricación de durmientes de hormigón en la planta de beneficio “Playitas”, Sector El Salado, Cantón Portovelo, Provincia de El Oro.

Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los materiales componentes del hormigón a base de relave minero de la planta de beneficio “Playitas”.
- Determinar la dosificación idónea del hormigón patrón mediante la comparación de mezclas con y sin la incorporación de relave minero, evaluando sus propiedades físico – mecánicas.
- Diseñar un durmiente minero de hormigón armado utilizando relave minero como agregado.

4. Marco Teórico

4.1. Proceso de Tratamiento y Beneficio Mineral

El proceso de tratamiento y beneficio mineral, está enmarcado dentro de las fases que establece la ley de minería. Es una etapa necesaria dentro del marco económico minero. Metso Coropration (2011) establece acerca del procesamiento de minerales, lo siguiente:

Es una práctica muy antigua como la civilización humana. Los minerales y sus productos derivados, han estado presentes en nuestra cultura desde el pedernal en la edad de piedra, hasta los metales de uranio en la edad atómica.

En el procesamiento de minerales, su meta es producir el valor máximo de un material en bruto dado, proveniente desde la fase de extracción y entrando a la primera etapa de chancado, el cual esta meta puede ser un producto con cierto tamaño y forma o también, la recuperación máxima de metales de interés presentes en el mineral. Las técnicas aplicadas para lograr estas metas son de carácter clásico, complementario y bien definido. (p.3)

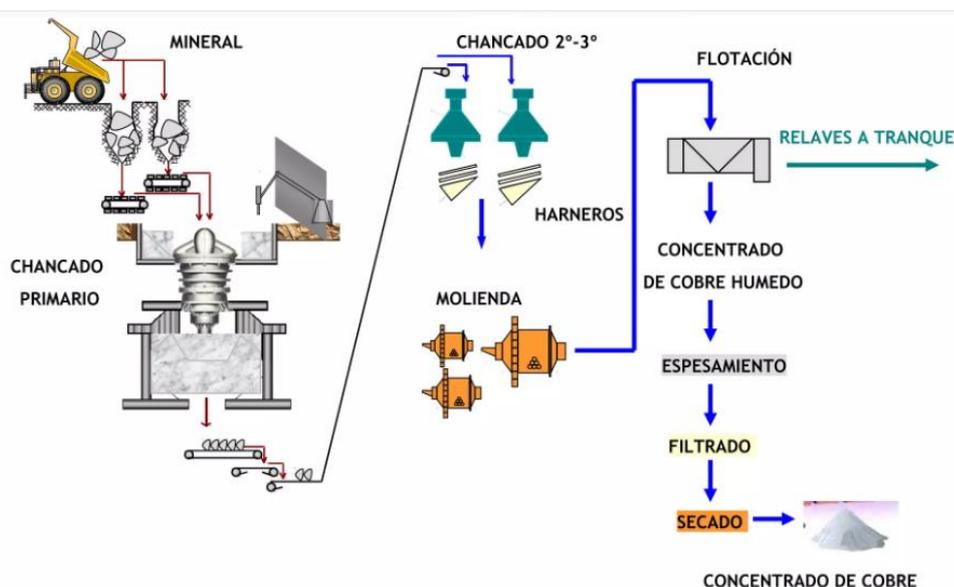


Figura 1. Etapas del procesamiento de minerales
Nota. Recuperado de (metallurgist.com)

Los diferentes procesos de tratamiento y beneficio mineral, son seleccionados de acuerdo a las características físicas, químicas, mecánicas y mineralógicas del mineral. Generalmente se tienen dos etapas dentro de esta fase, la primera es la etapa de conminución y posteriormente la etapa de concentración. Algunas plantas no cuentan con la fundición y refinación, por lo que, en un esquema básico, se encuentran las primeras dos mencionadas.

4.1.1. Conminución

Las primeras etapas del procesamiento de minerales son la conminución, en la que se define un cierto grado de reducción, lo que libera el mineral valioso y da paso a la siguiente etapa, la concentración.

Otros autores han afirmado lo siguiente:

La idea de conminución se refiere a los procesos que reducen el tamaño de los minerales y permiten la liberación de especies intrínsecas valiosas. El objetivo de esta etapa, es la reducción de tamaño de las rocas. Esto es importante para controlar las características de diseño, operación y metalurgia de una planta de conminución de minerales. Esta etapa pretende que los equipos estén entrelazados y automatizados, siempre y cuando se encuentren dentro de los márgenes diseñados con su debido control, como, por ejemplo, la granulometría de la alimentación y descarga de un circuito de proceso.

El material proveniente de la mina, ingresa con tamaños variados, por lo que entra a la primera subetapa de este proceso que es el chancado, posteriormente se traslada a la siguiente subetapa de molienda, en la que reduce aún más los fragmentos de mineral y los homogeniza a una sola malla óptima de salida, para dar paso al siguiente proceso de concentración. (Arrau, 2006, p.91)

Trituración. Considerada como una etapa primaria, de la cual se parte escogiendo el tamaño granulométrico del material a beneficiar, según algunos autores es:

La principal fuerza que actúa es la compresión simple, fracturando al material. Para poder llegar a ese punto, es necesario crear una fuerza de rompimiento que logre que se sobrepase el límite plástico. Al triturarse un material, existe un consumo energético proporcional a la nueva superficie producida. (Espinosa y Lopez, 1984)

Molienda. Corresponde a la última etapa de la conminución, esta etapa, es donde el consumo energético, acero y agua suelen ser más costos, ya que representa hasta un 70% de la energía en kW/h por tonelada de material tratado.

Según Blanco (2014), infiere que:

En esta etapa, se busca la liberación de unas especies mineralógicas con otras hasta lograr un tamaño determinado, el cual, permita una concentración mejorada y así lograr un alto porcentaje de recuperación. En esta etapa se ocupan equipos denominados molinos, que pueden contener dentro de ellos medio moledores como

barras, bolas, guijarros, etc., los cuales pueden llegar a trabajar en medios secos o húmedos. (p. 170)

4.1.2. Concentración

Es importante destacar que este proceso “Es aquella operación en la cual se eleva el tenor (en porcentaje) de una mena o mineral determinado, mediante uso de quipos de separación sólido-sólido produciendo una segregación de dos o más especies mineralógicas enriquecidas en un mineral valioso” (Bustamante et al., 2008, p.1).

Los procesos de concentración se clasifican en:

- Gravimétricos.
- Flotación.
- Cianuración.

Flotación. Un método actualmente muy empleado para el procedimiento de concentración es el de flotación en paridad con los de lixiviación y gravimetría.

Es un proceso que utiliza concentraciones acuosas para separar las partículas “hidrófobas” de las partículas “hidrofilicas”, por tal motivo se lo considera un proceso fisico-químico. Por medio de la inyección de burbujas de aire de manera controlada se desarrolla este proceso, de igual manera se utilizan reactivos químicos que hacen reaccionar a las partículas minerales y forman espuma. (Bustamante et al., 2008, p. 49)

4.1.3. Índices metalúrgicos

Estos índices son indicadores utilizados para conocer la calidad obtenida en el tratamiento y beneficio del mineral, el mismo que se desarrolla en todas las etapas de beneficio, según lo indicado por Bustamante (2008), “son valores que indican la calidad de la selección efectuada dentro de las etapas de la concentración”. Dichos balances se los puede desarrollar en cualquier etapa del proceso de beneficio mineral, y los valores que se le asignen al material deben estar relacionados a la ley contenida, por aquello algunos productos serán concentrado (material con buena ley mineral), o relave (material de baja ley o residual).

4.2. Tipos de residuos mineros

Según la composición físico química del residuo minero se lo puede clasificar en tres tipos, presentados a continuación:

4.2.1. Residuos sólidos

Constituidos por elementos de sólidos de tamaño variable, entre los que se puede encontrar escombros o material de caja, sedimentos (relaves), mismos que se originan en el proceso de beneficio de los minerales. Marín (2011), establece que estos desechos son una mezcla de varios elementos agua, productos químicos, roca molida, minerales no recuperados y tierra, mismos que para su desecho son depositados en zonas denominadas relaveras.

4.2.2. Residuos líquidos

Constan de elementos acuosos, como aguas residuales, mismas que contienen elementos químicos considerados como contaminantes, originados en la explotación minera, en función a las condiciones geológicas, en el proceso de beneficio, en función a sus características y composición química.

4.2.3. Residuos gaseosos

Relacionados a la geología del sector donde se produce la explotación mineral, al uso de maquinaria y demás elementos asociados a la fase minera, como el transporte, produciendo gases como el CO₂ Y SO₂, en el proceso de beneficio se genera por reacción de las diversas sustancias químicas empleadas que al reaccionar con el oxígeno producen gases. (Medina, 2017, p. 49)

4.3. Relave minero

4.3.1. Definición y composición

El estudio de relaves mineros principalmente se fundamenta por su potencial contaminante y de ahí la necesidad de reutilizar este material que tal como lo describe Rivasplata (s/f) expresando que:

Los relaves mineros son considerados como elementos tóxicos los cuales son derivados de procesos mineros de concentración los cuales son la mezcla de rocas, agua y minerales que se extraen de un beneficio minero. Los mismos que contienen abundante cantidad de elementos químicos y reactivos que al ser depositados en un sitio alteran el ambiente, los mismos generalmente son depositados en depósitos llamados relaveras. Donde existe un proceso de decantación en el cual el agua se va depositando en la superficie del recipiente para ser recuperada o reutilizada. El manejo de relaves es fundamental para la recuperación de agua y para evitar filtraciones en el suelo y las napas subterráneas debido a su almacenamiento es la única alternativa (p.3).

En las operaciones mineras, se elimina el relave, un sólido molido. La minería de sulfuros de cobre extrae una gran cantidad de material (roca) del yacimiento donde se realiza la extracción. El elemento de interés económico que se desea recuperar es solo una pequeña parte (algo menos del 1%). Una vez que ese material (la roca) se ha molido y concentrado mediante procesos de flotación, se obtiene un material (el concentrado) con una concentración más alta de cobre (20 a 30 por ciento), que se puede vender como concentrado o procesar para obtener cobre metálico puro. El resto del material (que es muy pobre en cobre) se llama "relave" y se debe depositar de manera segura y responsable para el medio ambiente (Sernageomin, 2018).

Los relaves mineros presentan fundamentalmente problemas en su depositación al existir grandes volúmenes de material que debe ser desechado y depositado en lugares propios para este material llamados relaveras.

4.3.2. Tipos de relaves mineros

Los relaves según el contenido de humedad que presentan y la forma de ser depositados se clasifican de la siguiente manera:

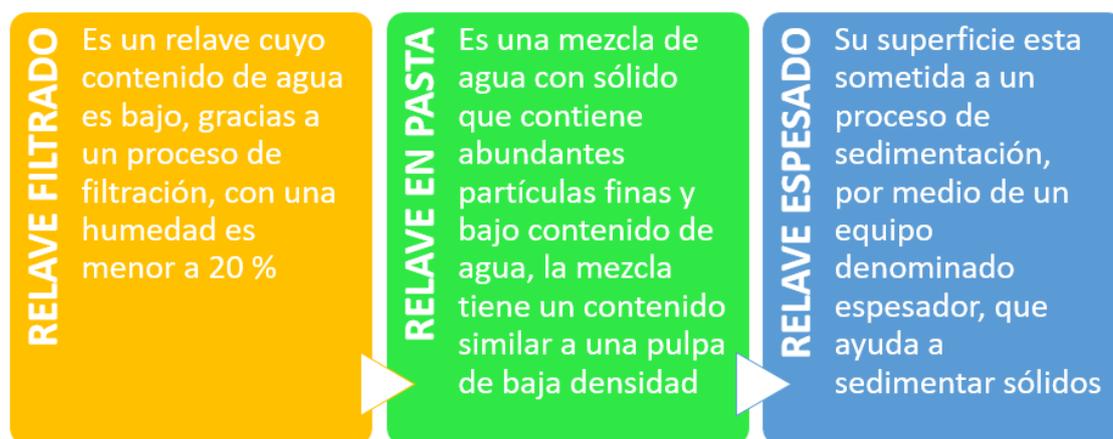


Figura 2. Tipos de relaves

Nota. Elaborado por Autor, tomado de Sernageomin (2018)

4.3.3. Disposición final de los relaves

Las diferentes alternativas utilizadas para la depositación final de un relave minero dependerán de sus características, del costo del tratamiento del agua, y, de las características del sector donde se llevará a cabo el acumulamiento del relave minero que se va a depositar. (Ramírez, 2007)

En este contexto la normativa peruana, por medio de la Guía ambiental para el manejo de relaves mineros, del Ministerio de Minas del Perú, menciona tres tipos de depósitos.

- Depósitos superficiales.
- Depósitos subterráneos
- Disposición submarina

Las relaveras mismas que son el medio de depositación más tradicional, están en el grupo de los depósitos superficiales, mismas que destacan por su versatilidad y economía, permite que los sólidos se acumulen en el fondo y el agua sea recirculada.

4.4. Propiedades de los relaves

4.4.1. Propiedades físicas

Análisis granulométrico. Para el análisis granulométrico el hidrómetro es uno de los más recomendados el cual consiste en un dispositivo que se utiliza para medir la densidad de la solución en la que se suspende el material granulométrico a medir. El método del hidrómetro calcula la distribución cuantitativa de las fracciones muy las partículas finas del suelo, lo que significa que las partículas retenidas en la malla 200 que tienen un diámetro superior a 0,075 mm generalmente se determinan mediante tamizado. Por otro lado, las partículas menores al diámetro descrito se distribuyen mediante sedimentación utilizando el equipo indicado.

Densidad real. El análisis de la densidad real se lo realiza por el método del picnómetro, el cual es una metodología sencilla y rápida que permite determinar la densidad del relave estudiado (Ortiz, 2016)

$$\rho_r = \frac{\rho_w * (M_b - M_a)}{(M_b - M_a) - (M_c - d)} \quad \frac{g}{ml}$$

Donde:

ρ_r : densidad real en g/mL

ρ_w : densidad del agua a 4°C en g/mL

M_a : peso de picnómetro vacío.

M_b : peso de picnómetro más relave.

Densidad aparente. La densidad aparente es una característica física de fácil cuantificación y viene descrita por la siguiente ecuación:

$$\rho a = \frac{M_2 - M_1}{V_r} \quad \frac{g}{ml}$$

Donde:

ρa : densidad aparente $g mL$

M1: masa de la probeta vacía g.

M2: masa del sólido g.

V_r : volumen de la probeta mL.

Contenido de humedad. Es la cantidad de agua contenida en el cuerpo rocoso. Para su cálculo, se pone la muestra de roca en un horno hasta que se seque.

$$W\% = \frac{Phumedo}{Pseco} * 100$$

4.4.2. *Propiedades químicas*

Fluorescencia de rayos x. La técnica consiste en emitir energía a través de la emanación de rayos X hacia las muestras, las cuales son transferidas y recibidas por los átomos de los elementos contenidos, lo que provoca cambios en ellos, pasando del proceso de excitación y generación de rayos fluorescentes cuantificados (Requena et al., 2021).

Análisis de elementos traza. Los elementos trazan se analizan utilizando ICP-OES con digestión de 4 ácidos. La alta precisión y sensibilidad de esta técnica permite identificar los elementos químicos presentes en los relaves que incluyen tierras raras en concentraciones bajas. (Zamora, 2017).

4.4.3. *Análisis mineralógico*

El propósito del análisis mineralógico del relave es identificar los minerales presentes en las muestras tomadas. Este análisis se lleva a cabo mediante XRD. Esto es posible al identificar la estructura cristalográfica que distingue a cada las ondas de la especie mineral se encuentran en la misma fase en ciertas direcciones debido a la difracción, que es el resultado de la incidencia de ondas de longitudes definidas sobre la superficie de la especie mineral. Como resultado, el haz de luz emitido por los rayos X se desvía en diferentes direcciones sin alterar la longitud de la onda original, lo que resulta en que las ondas se encuentran en la misma fase en ciertas direcciones. (Miramira et al., 2016)

Difracción de Rayos X. Los análisis de rayos X, según Londoño (2010), establece:

Son técnicas utilizadas para examinar la composición mineral de muestras. En estos ensayos, se aplica la difracción de rayos X con el propósito de obtener datos acerca de la estructura cristalina de los minerales que componen una muestra. Este fenómeno de difracción ocurre cuando los rayos X inciden sobre un cristal y se dispersan en diversas direcciones debido a la disposición ordenada de los átomos en la red cristalina.

4.5. Áridos

4.5.1. Propiedades físicas

Según la Norma INEN 694, los áridos son todo material granular como grava, arena, piedra triturada o escoria de los hornos de hierro, cuyo uso es el de cementante para la elaboración de hormigón.

Contenido de humedad. Según Góngora et al. (2008), el contenido de humedad es necesario para determinar la cantidad de agua presente en una muestra de suelo haciendo una comparativa de su peso en seco, presentado como el valor porcentual de agua en una muestra. Una de las normas más empleadas para realizar este ensayo es la ASTM C – 566.

Granulometría. Permite la cuantificación de los porcentajes de gravas, limos y arcillas que se encuentran en una masa de suelo, el método más empleado es el mecánico mediante la utilización de distintos tipos de tamices, mismos que permiten establecer la granulometría de un material en función a la retención en peso. (Alemán. C, 2017)

Una de las normas más empleadas es la ASTM C-136.

Abrasión. El ensayo de abrasión de áridos es una prueba de laboratorio que se realiza para determinar la resistencia al desgaste de los áridos cuando son sometidos a fuerzas de fricción y impacto. Esta propiedad es fundamental para evaluar la durabilidad de los áridos utilizados en la construcción, especialmente en aplicaciones donde estarán expuestos a condiciones de desgaste, como en carreteras, pavimentos y obras hidráulicas. (Letelier, 2014)

Densidad en masa y porcentaje de vacíos de los agregados. Este ensayo permite establecer la densidad de los agregados en estado SSS (saturado superficialmente seco), las normas que regularizan el desarrollo de este ensayo están descritas en la siguiente tabla.

Tabla 1. Norma ASTM densidad de los agregados.

Material a estudiar	Norma ASTM	Descripción
Agregado fino	ASTM-C128	Densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino
Agregado grueso	ASTM-C127	Densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso

4.5.2. Propiedades químicas de los áridos

Ensayo de sulfatos. El ensayo de sulfatos es un análisis químico que se realiza para determinar la presencia de sulfatos en una muestra. El ensayo de determinación de cloruros y sulfatos cuantifica con precisión los contenidos solubles en agua de los áridos para morteros y hormigones, aplicándose a materiales con densidades de 2000 a 3000 kg/m³, asegurando su durabilidad y resistencia conforme a los estándares técnicos. (Ingemars.cl, s.f)

Conductividad, pH, salinidad. La conductividad eléctrica de un suelo es una medida de la capacidad de este para conducir una corriente eléctrica. El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución, en este caso, del suelo. La salinidad es la concentración de sales solubles en el suelo. A estos parámetros se los evalúa mediante un equipo de laboratorio denominado medidor portátil multiparamétrico. (Hernandezlab, 2013)

4.5.3. Propiedades mineralógicas de los áridos

Las propiedades mineralógicas se refieren a la composición mineral de un material, es decir, a los tipos de minerales que lo conforman y a sus proporciones relativas. Estos minerales pueden ser de origen primario (provenientes de la roca madre) o secundario (formados por procesos de alteración). (Requena et al., 2021).

4.6. Muestreo

Según lo manifiesta Porras Velázquez (2020), la elección de un muestreo parte de la necesidad de la toma del individuo o muestra, recolectada en base a una población, misma que debe ser representativa y sus elementos que la componen representan a la población general, misma que debe definir a las unidades, elementos, áreas y periodos de tiempo (p.5).

Por otra parte, Quispe (2019), define al muestreo como una de las operaciones que tienen una importancia mayoritaria en los trabajos ya sea de prospección, así como también en la explotación y demás estudios referentes al estudio de materiales geológicos. Muestrear es denominado como el conjunto de labores enfocadas a buscar información representativa de un todo con el fin de obtener información cuantitativa y cualitativa sobre sus componentes.

4.6.1. Métodos de muestreo

Según lo expresado por Porras Velázquez (2020), los diferentes métodos de muestreo estarán enfocados en el tipo de material y de la disposición en la que se lo encuentre, tomando como base dicho aspecto existen los siguientes tipos de muestreo.

Muestreo aleatorio simple. Este muestreo consiste en la toma de muestras de distintos lugares de un lote representativo, de tal manera que las mismas sean tomadas al azar sin que se repitan, es decir tomándolas en distintos sectores de un lote de muestreo.

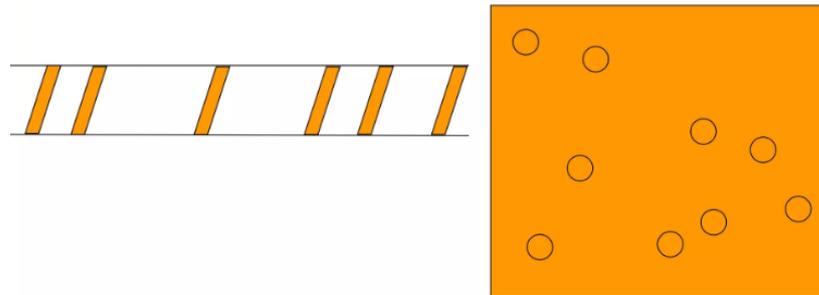


Figura 3. Muestreo aleatorio simple

Nota. Tomado de Quispe (2019)

Muestreo sistemático. Aquí se toma las muestras en sectores ordenados y definidos anteriormente por medio de una malla, en la cual se definen los sectores de los cuales se van a recoger las muestras representativas, este método se caracteriza por el orden en la toma de datos.

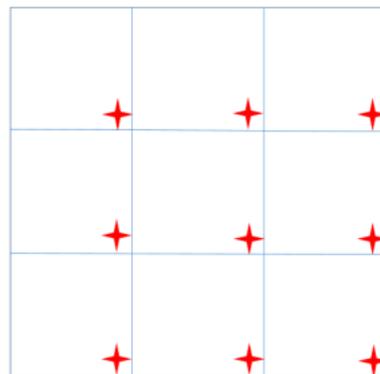


Figura 4. Muestreo sistemático

Nota. Tomado de Porras (2020)

Muestreo estratificado. Es un método aleatorio mismo que consiste en la toma de muestras dentro de una sección de tiempo y espacio a tamaño constante, las muestras se agrupan homogéneamente.

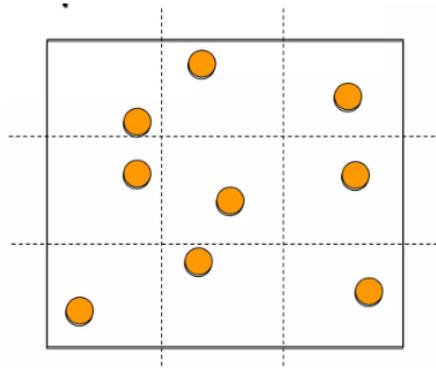


Figura 5. Muestreo estratificado
Nota. Tomado de Quispe (2019)

4.7. Hormigón o concreto

Tal como lo menciona *El Hormigón* (2015), En la construcción, se utiliza hormigón o concreto, un material compuesto que se compone principalmente de un aglomerante (comúnmente cemento Portland), al que se agregan partículas o fragmentos de un agregado (áridos, como grava, gravilla y arena), agua para hidratarlo y aditivos específicos. El mortero es una mezcla de cemento, arena y agua sin agregados (p.2).

Según lo menciona Romo (s. f.), las características del hormigón "dependen en gran medida de la calidad y proporciones de los componentes en mezcla, así como de la humedad y la temperatura durante los procesos de fabricación y fraguado". Para obtener características específicas del hormigón, como mayor trabajabilidad, mayor resistencia o baja densidad, se pueden agregar otros componentes, como aditivos químicos, micro sílice, limallas de hierro, etc., o se pueden reemplazar sus componentes básicos por componentes con características especiales, como agregados livianos, agregados pesados, cementos de fraguado lento, entre otros.

4.7.1. Componentes del hormigón

Principalmente compuesto por agregados finos, gruesos, agua y cemento, los mismos que deben cumplir con distintas evaluaciones tanto a nivel físico, como químico, para su uso seguro en la construcción de cualquier estructura. Con la finalidad de optimizar las características de una mezcla de hormigón en ocasiones se requiere la implementación de ciertos aditivos o la adición de componentes como fibras que hacen mejorar la resistencia media del hormigón, dependiendo de distintos factores de exposición o exceso de fuerzas a las que este expuesto el hormigón. (Blanco, s. f.)

Tabla 2. Componentes del hormigón

Componentes del hormigón	
Elemento	Característica
Cemento o aglomerante	La principal función del cemento es aglomerar toda la mezcla o pasta formada por agua y áridos, endureciendo los huecos y brindando permeabilidad
Áridos	Componentes que ayudan a darle estructura y rigidez al hormigón, ayuda con los diferentes parámetros de resistencia que debe soportar el hormigón.
Agua	Hidrata la pasta y aporta con plasticidad a la mezcla de hormigón.

Nota. Elaborado por Autor, recuperado de Blanco (sf)

Cemento. Según Claudio Giordani & Leone (2019), El cemento para la elaboración de hormigones se selecciona dependiendo si es una estructura simple o armada, algunos diseños requieren características específicas de cemento debido a riesgos como el de exceso de sulfatos, uso de agregados reactivos en estructuras expuestas a temperatura y humedad, riesgo de fisuración por efectos térmicos, resistencia temprana del hormigón o importancia del color en elementos estructurales y/u ornamentales. De tal manera según el caso especificado previamente en el diseño de hormigón se debe seleccionar el tipo de material a utilizar y si es necesario también el tipo de aditivo

Tabla 3. Componentes del cemento

Componentes del cemento	
Componente	Cantidad %
Óxido de calcio	64
Óxido de Silicio	21
Óxido de aluminio	5.5
Óxido de hierro	4.5
Óxido de magnesio	2.4
Sulfatos	1.6
Otros	1.0

Nota. Recuperado de Medina (2017)

Arena. Permitiendo la formación de la pasta de hormigón, el agregado fino debe ser bien estudiado y seleccionado adecuadamente porque de su elección depende la estabilidad del hormigón. Su uso tiene como objetivo reducir los espacios entre la grava. No debe

contener material orgánico, ni exceso de arcillas en su composición, arena con exceso de arena granítica no es aceptada. (Reyes, 2010, p.19)



Figura 6. Arena fina

Nota. Recuperado de Bloques Cando.com

Grava. También conocida como el esqueleto del diseño del hormigón cumple con la función de sostenimiento de la mezcla y su resistencia es fundamental para que la mezcla diseñada cumpla con los parámetros de evaluación.



Figura 7. Grava

Nota. Recuperado de Scosa.com

Agua. En el diseño de mezclas de hormigón se puede implementar el uso de cualquier tipo de agua que no presente mal olor o elevada turbiedad. Por lo tanto, se parte de la premisa que agua que se la pueda beber sirve para elaborar mortero. El agua cumple con la función de hidratar y aglutinar la pasta. (Reyes, 2010)



Figura 8. Agua

Nota. Recuperado de Fundación Aquae

Aire. En el diseño de un concreto el aire requiere su cálculo debido a la capacidad que el mismo tiene de introducirse en la mezcla por medio de burbujas. (Reyes, 2010)

4.8. Diseño del hormigón

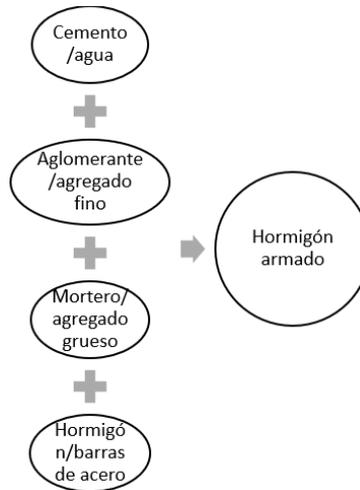


Figura 9. Diseño de hormigón armado
Nota. Elaborado por Autor, adaptado de Diez (2022)

Según lo indica Kosmatka et al. (2003), el diseño del hormigón consiste en determinar los parámetros necesarios para la construcción y elaboración del mismo. Sus características y propiedades tanto del concreto fresco como endurecido, y el análisis de posibles materiales que refuercen su resistencia. La dosificación de la mezcla es el método que consiste en determinar mediante cálculos cualitativos y cuantitativos, la cantidad de material necesario para una determinada construcción. Un concreto que este bien diseñado y proporcionado debe tener las siguientes características: La durabilidad, la resistencia y la apariencia uniformes del concreto endurecido y la trabajabilidad aceptable del concreto fresco.

Bailón (1983), en su investigación indica que existen algunas metodologías empleadas para la dosificación de hormigones dentro de las cuales destacan las siguientes expresadas en el siguiente cuadro:



Figura 10. *Métodos de diseño de hormigón*
Nota. *Elaborado por Autor, adaptado de Bailón (1983)*

Además, reconoce que "todos estos métodos no presentan problemas de cálculo ni de llegar a obtener los mejores resultados, siempre que se dispongan de materiales que se ajusten a los requerimientos exigidos por cada método".

4.9. Métodos para el diseño de hormigones

La amplia gama de construcciones que se pueden realizar a base de hormigón da una pauta sobre la versatilidad de este material, y que el mismo se adapta a distintas exigencias las mismas que están enfocadas en que este material tenga una mayor resistencia y aplicabilidad en el ámbito constructivo. Con el fin de conocer cuáles son las principales metodologías para el diseño de hormigones se tratará acerca de las principales, que están descritas a continuación:

4.9.1. Método ACI

Según lo indica Bolívar (2004), esta norma se la presenta como resultado de investigaciones de gran amplitud, desarrollados por diversos investigadores de renombre como Abrams, Richard y Talbot. Este método es ampliamente utilizado para hormigones que contengan dos agregados y que presenten resistencias menores a los 42 Mpa, es decir para hormigones normales.

Este método se fundamenta principalmente en cuatro puntos los cuales son los siguientes:

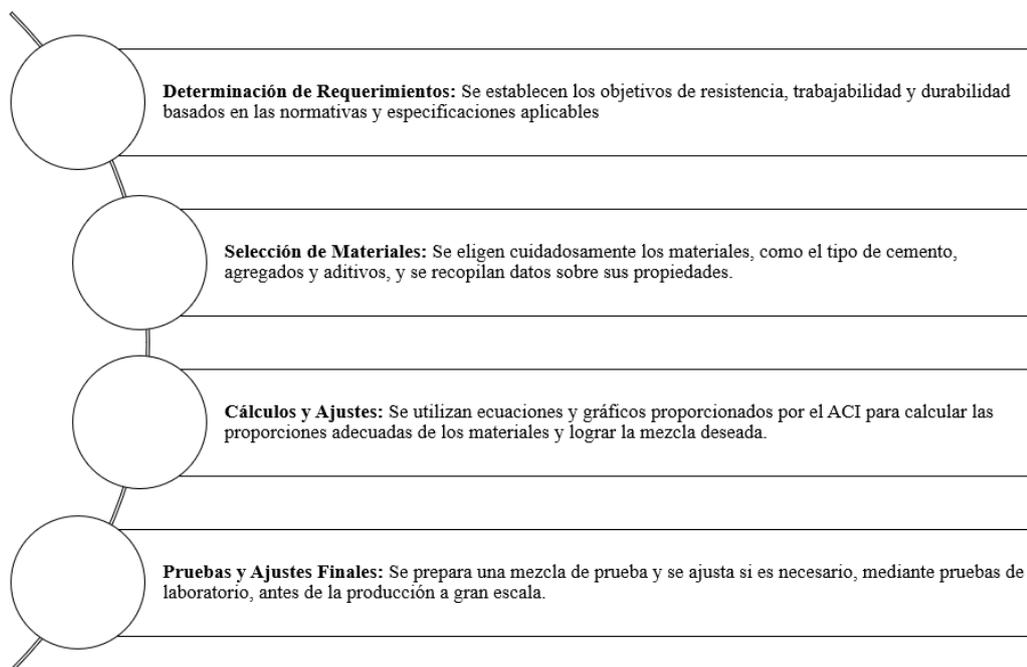


Figura 11. Características del método ACI

Nota. Elaborada por el autor, recuperado de Martínez (2021)

4.9.2. Método Fuller-Thompson

Este método corresponde a los denominados analíticos, ya que a diferencia del ACI, se intenta llegar a calcular la dosificación por medio del uso de correcciones por asentamiento y resistencia, es decir, sin realizar una corrección de la dosificación inicial. El método resulta del análisis realizado por William B. Fuller y Thompson E, los cuales fundamentan su dosificación en el diseño de una curva granulométrica para los agregados gruesos que componen el hormigón. Este método es apropiado para hormigones que tengan agregados redondeados, sin gran cantidad de refuerzos estructurales y con un tamaño de agregado menor a 70 milímetros. (Giraldo, 2004)

Este método principalmente fundamenta su procedimiento en tres aspectos, expuestos a continuación:

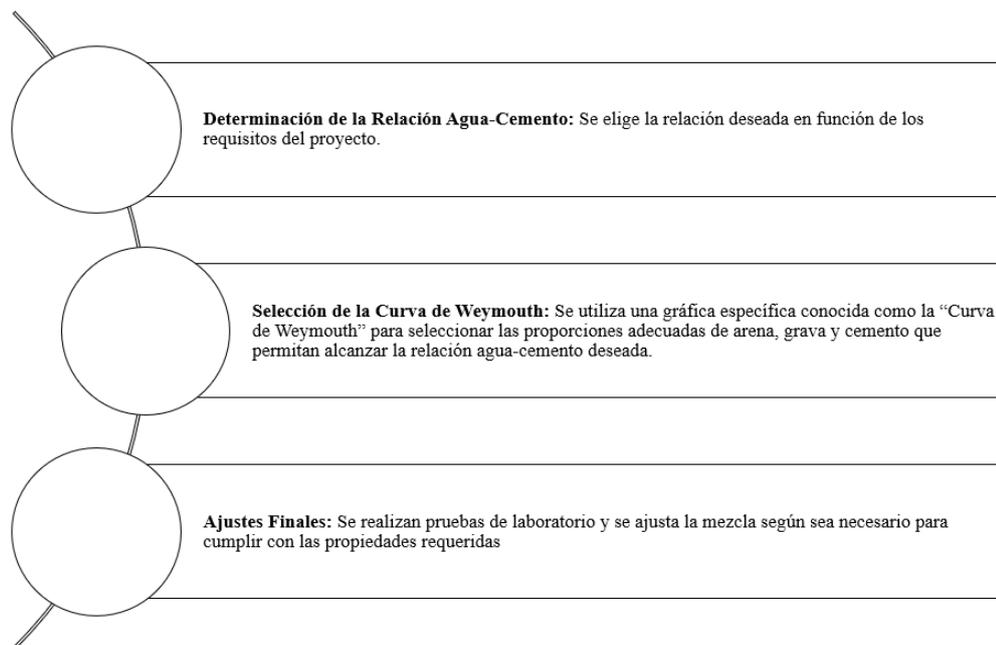


Figura 12. Características del Método Fuller – Thompson
Nota. Elaborada por el autor, recuperado de Martínez (2021)

4.9.3. Método Bolomey

En concordancia a lo expuesto por Barrera (2020), el método Bolomey es una optimización del de Fuller es útil para el diseño de hormigones en masa para los cuales es conocida algunas propiedades y especificaciones como la cantidad de cemento, y demás propiedades físicas como la granulometría y tamaños máximos de los agregados a emplear y los sistemas de compactación utilizados. El principal objetivo de este método es tratar de conseguir un hormigón económico en cemento en base a sus resistencias, la forma de los agregados y su consistencia. Los datos utilizados para los cálculos de hormigón en base a este método son muy similares a los de Fuller e inclusive se utiliza las mismas tablas para cálculos de agregados que con Fuller (p.1).

Algunas de las principales características del uso de este método están descritas a continuación:

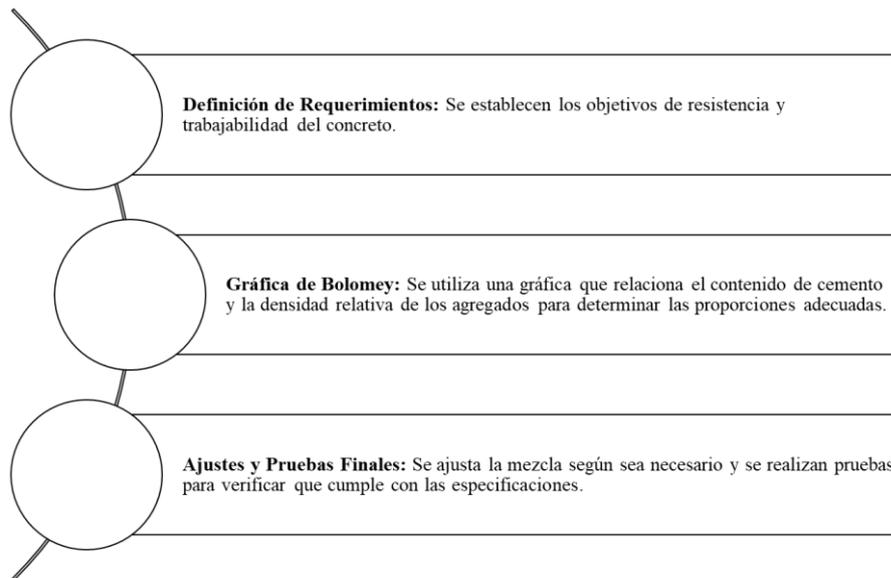


Figura 13. Características del método de Bolomey
Nota. Elaborada por el autor, tomada de Martínez (2021)

4.9.4. Método de Faurý

En concordancia con lo expuesto por Universidad Politécnica de Catalunya (2021), este método se basa en el tamaño máximo del agregado que según lo expresado en este método es considerado como el número del tamiz utilizado por el cual pasa todo el árido utilizado para el estudio del hormigón, es decir este método está basado también en la granulometría del agregado. SE basa en experimentos realizados por el autor basándose en las anteriores investigaciones de Fuller y Bolomey, dividiendo su procedimiento en cinco pasos (p.11).

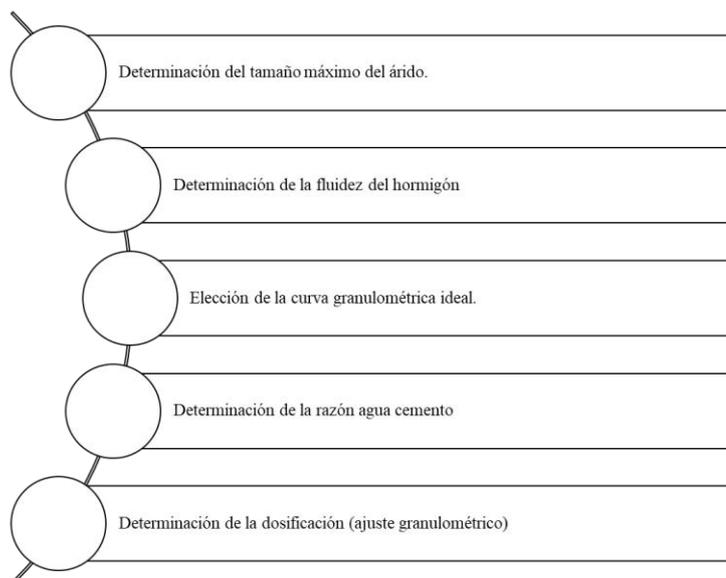


Figura 14. Procedimiento del método Faurý
Nota. Elaborado por el autor, tomado de Universidad Politécnica de Catalunya (2021)

4.10. Propiedades del hormigón

4.10.1. Propiedades del hormigón fresco

Dentro de las propiedades más importantes que se le asignan al hormigón fresco destaca la trabajabilidad y la relación agua cemento. Es importante especificar que, aunque la relación agua cemento no es considerada una característica es importante ya que a partir de esta relación afecta directamente a las propiedades físico – mecánicas del hormigón endurecido.

Trabajabilidad. Según lo especificado por Hirschi et al. (s. f.), El término "trabajabilidad" se refiere al comportamiento del hormigón fresco durante su proceso de amasado, manipulación, entrega y colocación en la obra, así como durante su compactación y acabado.

Los valores límite de asentamiento del cono de Abrams y los tipos de consistencia del hormigón, son los siguientes:

Tipo de Consistencia	Asentamiento (cm)	Factores de influencia
Seca (S)	0-2	- Composición / forma de las partículas
Plástica (P)	3-5	- Tipo / contenido en cemento - Contenido en agua
Blanda (B)	6-9	- Uso de adiciones
Fluida (F)	10-15	- Uso de aditivos de hormigón - Condiciones de temperatura
Líquida (L)	16-20	- Tiempo / intensidad de amasado

Figura 15. Valores de asentamiento del cono de Abrams

Nota. Recuperado de Hirschi et al (s. f.)

Relación agua – cemento. El valor característico más importante de la tecnología del hormigón es la relación agua/cemento (a/c). Ella es responsable de la resistencia, la durabilidad y los coeficientes de fluencia y retracción. Además, determina cómo está estructurado el interior de la pasta de cemento endurecida. La relación agua-cemento es el cociente de agua y cemento presentes en el hormigón recién construido. o dividiendo la masa del agua por la masa de cemento contenida en un volumen de concreto especificado.

$$\frac{a}{c} = \frac{Ag - A_o}{C}$$

Densidad del hormigón fresco. La densidad de este tipo de hormigón viene establecida en función a la relación existente entre la masa de la mezcla y su volumen, siendo de gran importancia al momento del endurecido y fraguado del hormigón. De ahí se puede diferenciar entre tres tipos de hormigón: Hormigón liviano (500 – 1 800 kg/m³), normal

(mayor a 2 000 kg/m³), y pesado entre (3 000 – 4 000 kg/m³), dicho ensayo está establecido en la norma ASTM C-138

4.10.2. *Propiedades del hormigón endurecido*

La resistencia a la compresión simple y la resistencia a la flexión o tracción son las características principales del hormigón endurecido.

Resistencia a la flexión. La resistencia a la tracción del concreto se mide por su resistencia a la flexión. Es una evaluación de la capacidad de una viga o losa de concreto sin reforzar para resistir la falla en un momento determinado. Se evalúa aplicando cargas a vigas de concreto de sección transversal de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) con luz de como mínimo tres veces el espesor. El módulo de rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) de la resistencia a la flexión se mide utilizando los métodos de ensayo ASTM C78 (cargado en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargado en el punto medio).

Según algunos parámetros técnicos y normativas existen dos maneras de evaluar la resistencia a la compresión las cuales serán especificadas en la siguiente tabla:

Tabla 4. Ensayo a la flexión del hormigón

Normativas de ensayo a la flexión en hormigones	
Norma	Ensayo - Descripción
NTP 339.078	Metodología utilizada para evaluar la resistencia del hormigón a la flexión en vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios de tramo
ASTM C78-02	Método de ensayo normalizado para medir la resistencia a la flexión del concreto (con la utilización de una viga simple con carga en los tercios del claro)

Nota. Elaborado por Autor, recuperado de Hirschi et al (s. f.)

Resistencia a la compresión. Se determina mediante un ensayo a compresión utilizando probetas (cúbicas o cilíndricas) especialmente fabricadas o testigos extraídos de la estructura. El tipo de cemento, la resistencia a la compresión y la relaciones entre agua y cemento y grado de hidratación, que están principalmente influenciadas por el tiempo y el proceso de curado. Como resultado, la resistencia del hormigón se deriva de la resistencia del cemento hidratado, la resistencia de los áridos, la unión entre los componentes y la curación. (Hirschi et al., s. f.)

La resistencia a la compresión se la puede definir a partir de la siguiente formula:

$$\sigma = \frac{\text{Carga aplicada}}{\text{Área}}$$

Definiendo a esta resistencia como el cociente entre una carga aplicada o una fuerza sobre un área determinada, a la cual se le asigna la denominación de resistencia a la compresión de un material específico.

Lo descrito por la norma ecuatoriana de la construcción un hormigón debe cumplir con una resistencia a la compresión de 21 Mpa.

Densidad del hormigón endurecido. La densidad del hormigón endurecido estará en dependencia del tipo de árido utilizado para la construcción, estableciendo valores para áridos norma les (2 300 – 2 500 kg/m³), pesados (3 000 – 3 500 kg/m³), y ligeros (1 000 – 1 300 kg/m³), la norma más empleada para este procedimiento es la ASTM C-642.

4.11. Durmientes mineros

Los elementos estructurales que se colocan de forma transversal en el balasto sobre el cual se construyen las vías férreas se denominan durmientes. El propósito principal es la distribución de la carga sobre las ruedas a lo largo de las vías y garantizar su inclinación. (Gonzales, 2010)

4.11.1. Tipos de durmientes

Según Aquino (2014), existe una amplia variedad de durmientes los cuales se clasifican de la siguiente manera:

- Durmientes de madera
- Durmientes de hormigón
- Durmientes de acero
- Durmientes sintéticos

De los cuales según el tema de estudio los de mayor interés son los durmientes de hormigón armado, del cual sus características y demás parámetros serán analizados posteriormente.

4.12. Diseño de un durmiente minero.

Para el diseño de un durmiente minero se debe considerar algunos aspectos teóricos – prácticos, como los siguientes:

4.12.1. Diseño de un durmiente de madera

Para el diseño de un durmiente de madera existen algunas metodologías para su dimensionamiento, algunas de las más utilizadas son AREMA (U.S.A), UIC (Europa), y metodologías locales.

AREMA. Es una normativa ampliamente utilizada en U.S.A. misma que establece los lineamientos y recomendaciones para el diseño de un durmiente de madera, en vías férreas.

Resistencia a la flexión: esta resistencia debe ser de 350 kg/cm², o mayor pero no más de 700 kg/cm²

Resistencia a la flexión: La misma fue evaluada tal como lo especifica la normas ASTM C-78, misma que expresa que esta resistencia debe ser el 5 %, de la resistencia a la compresión.

4.12.2. Diseño de durmientes de hormigón

Dentro de las metodologías necesarias para el dimensionamiento y diseño de un durmiente de hormigón existen normativas como la ASTM, AREMA, que detallan diferentes procedimientos para diseñar un durmiente de hormigón. Mismos que parten desde pesos del transporte, cálculo de pesos totales, cálculos de momentos, de flexión de cortante. Además de lo anteriormente descrito, es fundamental el cálculo de la cantidad de acero necesaria para el diseño.

ASTM. La Asociación Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) ha desarrollado diversas normas específicas para garantizar la calidad y el desempeño de los durmientes de hormigón, elementos fundamentales en la infraestructura ferroviaria. Estas normas cubren desde la fabricación y los materiales utilizados hasta las pruebas de resistencia y durabilidad.

AREMA. La Asociación Americana de Ingeniería Ferroviaria y de Mantenimiento de Vía (AREMA), por sus siglas en inglés. Sus manuales y guías técnicas son ampliamente reconocidos y utilizados a nivel mundial como referencia para el diseño, construcción y mantenimiento de vías férreas.

4.13. Análisis de precios unitarios

Este análisis constituye la suma total de los valores que representan un costo en la fabricación de una estructura, tales como, mano de obra, materiales, entre otros factores que generan un gasto. Dentro de un análisis de costos se subdividen los directos y los indirectos.

Costos directos. Según Gardner (2001), son aquellos que se le aplica a un producto ya establecido es decir herramientas, materiales, mano de obra, equipos y transporte,

dándoles un valor conocido, mismo que debe ser tomado en consideración por la persona que va a realizar la construcción.

Costos indirectos. El mismo autor señala que estos costos son de tipo administrativo y técnico, mismos que son necesarios para efectuar la actividad a realizarse y normalmente no se los considera dentro de los costos directos por no estar vinculados directamente con la actividad, algunos son: depreciación, servicios, gastos de oficina, prestaciones, entre otros.

5. Metodología

5.1. Ubicación y acceso del área de estudio

5.1.1. Ubicación

El lugar de estudio es la planta de beneficio de minerales “Playitas”, código 30000928, la misma que se encuentra ubicada en el sector El Salado, cantón Portovelo, en la provincia de El Oro.

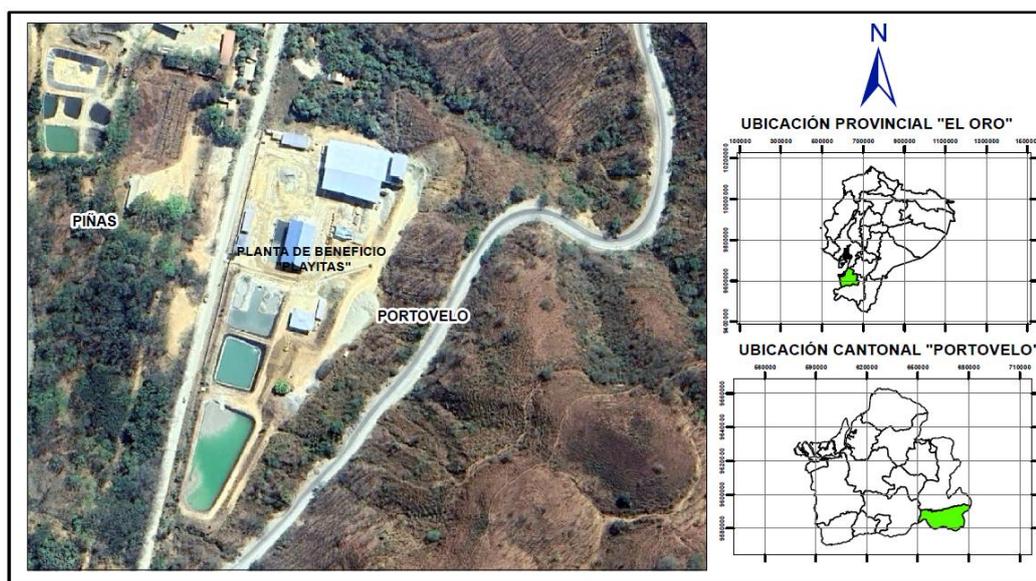


Figura 16. Ubicación de la planta de beneficio "Playitas"

La planta de beneficio "Playitas", código 30000928, geográficamente se encuentra limitada por las coordenadas WGS-84, así como por su equivalencia en UTM PSAD-56, zona 17 Sur, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5. Coordenadas del área de estudio.

Puntos	WGS84		Puntos	WGS84	
	X	Y		X	Y
P01	650779.451	958217.966	P08	650680.624	9584705.25
P02	650925.19	958194.093	P09	650676.243	9584733.94
P03	650866.031	958489.163	P10	650671.339	9584749.35
P04	650793.557	958490.111	P11	650712.485	9584931.42
P05	650726.32	958482.493	P12	650727.067	9584996.92
P06	650698.234	958471.624	P13	650745.836	9585075.43
P07	650686.87	9584704.1			

5.1.2. Acceso

Para acceder a la planta de beneficio “Playitas”, se puede realizar un recorrido mediante vía aérea o terrestre, tal como se indica a continuación:

Por vía terrestre, se puede llegar desde Quito hasta Machala siguiendo la ruta principal (Loja-Machala) hasta llegar a la parroquia Zaracay. Luego, se continúa hacia Piñas y finalmente al sector el Salado, ubicado en el cantón Portovelo. Además, existen dos opciones de transporte desde la localidad de Loja.

La primera ruta, se inicia desde el terminal terrestre Reina del Cisne hasta Catamayo, luego se sigue la carretera E35 Panamericana de primer orden hasta llegar al sector Las Chinchas. Después, se hace un desvío a una vía de tercer orden (Chinchas-Portovelo) para llegar al cantón Portovelo. La segunda ruta comienza en Loja y se dirige hacia Catamayo, llegando a la parroquia de San Pedro de la Bendita. Luego se continúa hacia la parroquia El Cisne y finalmente se sigue la ruta de tercer orden (El Cisne-Ambocas-Portovelo).

De igual manera se puede acceder a través de vía aérea desde la ciudad de Quito, pasando por el aeropuerto internacional Mariscal Sucre hasta el aeropuerto Ciudad de Catamayo en el cantón Catamayo, provincia de Loja. Después, se puede seguir la carretera E35 Panamericana de primer orden hasta llegar al sector Las Chinchas, luego se cambia a una vía de tercer orden (Chinchas-Portovelo) y finalmente llegar al cantón Portovelo, en la provincia de el Oro.



Figura 17. A) Acceso vía terrestre desde Quito hasta Portovelo. B) Acceso vía terrestre desde Loja (Chinchas- Portovelo)

Nota. Tomado de Google Maps (2024)

Se puede llegar al sector El Salado, donde se encuentra la planta de beneficio de minerales "Playitas", desde el centro de Portovelo por la ruta que conduce a Loja (Chinchas Portovelo), que tiene una distancia de 5.5 km. Es importante destacar que a través de la ruta Loja-Catamayo, Chinchas-Portovelo, se puede llegar a la planta de beneficios "Playitas" sin necesidad de visitar Portovelo, ya que se encuentra a solo 6 kilómetros antes de ingresar al área.

5.2. Materiales

Tabla 6. Materiales a utilizar.

Materiales de campo	Materiales de laboratorio	Materiales de oficina
Recipientes plásticos	Reactivos químicos	Software Excel
GPS	Tamices	Microsoft Word
Marcadores	Recipientes de metal	Computadora
Etiquetas de muestreo	Picnómetro	Hojas
Fundas de muestreo	Máquina de ensayos de compresión hidráulica	Materiales de escritorio
Palas	Medidor de pH	Impresora
Paletas	Máquina de ensayos de flexión	
	Horno	
	Balanza electrónica	
	Mufla	

5.3. Procedimiento de trabajo

Para el desarrollo de este proyecto de investigación, se utilizó métodos cualitativos y cuantitativos, descriptivos y experimentales. Para lograrlo, se idearon las siguientes etapas:

- **Fase de campo:** Se procedió con la toma y preparación de muestras las mismas que fueron tomadas en el área donde se depositan los relaves, así como también recolección de muestras de todos los materiales que componen el hormigón.
- **Fase de laboratorio:** En esta etapa, se desarrollaron los ensayos necesarios para determinar las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los elementos componentes del hormigón, dichos ensayos se realizaron en los laboratorios de la Universidad Nacional de Loja, ESTSUELCON CIA. LTDA., y en la Universidad Técnica Particular de Loja.
- **Trabajo de oficina:** Los resultados obtenidos en la fase de campo y de laboratorio fueron analizados, registrados y redactados en esta fase. Se preparó el proyecto de investigación final.

5.4. Metodología del Primer Objetivo

“Caracterizar las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los materiales componentes del hormigón a base de relave minero de la planta de beneficio “Playitas”.

Las propiedades físicas, químicas y mineralógicas del relave fueron ejecutadas por medio de un ordenado procedimiento para realizar los ensayos de laboratorio, los mismos que para las propiedades físico – químicas fueron desarrollados en el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Minas, de la Universidad Nacional de Loja. Los ensayos para determinación de las propiedades mineralógicas fueron desarrollados en la Universidad Técnica Particular de Loja.

Las propiedades físicas, químicas y mineralógicas del relave fueron evaluadas siguiendo la normativa ASTM, para cada ensayo de laboratorio. Los análisis de las propiedades físico-químicas se llevaron a cabo en el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Minas de la Universidad Nacional de Loja, mientras que los ensayos para la determinación de las propiedades mineralógicas se realizaron en la Universidad Técnica Particular de Loja.

5.4.1. Muestreo de los materiales componentes del hormigón

Muestreo del relave minero. Se procedió con la recolección de las muestras, considerando la disposición del material a estudiar, mismo que se encontraba agrupado en una pila tipo stock, se optó por aplicar un método de muestreo por medio del cual, se tomó el material de la parte media de la pila, cavando horizontalmente hasta el centro de la misma, esta técnica se implementó con la finalidad de recolectar el material menos alterado y más homogéneo.

Muestreo de los agregados finos y gruesos. Con la finalidad de analizar las propiedades físicas y químicas de los agregados, se procedió a elegir una zona cercana a la Planta de Beneficio “Playitas”, donde se comercialice materiales pétreos. El lugar es el área minera “LUIS 3”, lugar de donde se procedió a realizar un muestreo similar al anteriormente descrito, debido a la disposición del material a estudiar. Los datos obtenidos se registraron en fichas de campo, mismas que se detallan en el anexo 1.

5.4.2. Propiedades del relave minero

5.4.2.1. Propiedades físicas del relave minero

En primer lugar, se procedió a llevar una muestra representativa del material a estudiar, es decir de relave, al laboratorio de la Universidad Nacional de Loja, con la finalidad de realizar los ensayos para obtener las distintas propiedades a analizar.



Figura 18. Recepción de la muestra de relave minero

Granulometría del relave minero.

Se basó en la norma ASTM C-136. En dicho procedimiento se obtuvo la curva granulométrica y el módulo de finura del material a estudiar. Tal como se representa en el anexo 3.

Peso específico del relave minero.

La muestra fue trabajada en estado SSS (saturado superficialmente seco), dicho procedimiento se basó en la norma ASTM C-128, aplicando esta metodología se obtuvo el peso específico real y aparente del relave minero. Tal como se evidencia en el anexo 4.

Contenido de humedad.

Mediante la aplicación de la norma ASTM C-566, se conoció el porcentaje de humedad que contiene el relave minero de la Planta de Beneficio “Playitas”. El mismo que se puede constatar en el anexo 5.

5.4.2.2 Propiedades químicas del relave minero

Fluorescencia de rayos x. Esta evaluación se realizó en un laboratorio especializado y el ensayo, según Requena et al. (2021), arrojando una información de tipo cuantitativa el ensayo de fluorescencia de rayos X, analiza las muestras por medio de un procedimiento que consiste en cuantificar la refracción sobre los átomos de los elementos que componen la muestra. Para el desarrollo del mismo se envió las muestras debidamente etiquetadas al laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Salinidad, conductividad y pH.

Tomando como base la norma ASTM D-4972, se procedió a analizar las muestras pertinentes. Así se pudo conocer los parámetros de salinidad, conductividad y pH, del material analizado.



Figura 19. Ensayo de conductividad, salinidad y pH.

5.4.2.3. Propiedades mineralógicas.

Difracción de rayos X. Tras la recolección de las muestras, se procedió a elaborar el análisis de difracción de rayos X, mismo que fue elaborado mediante XRD. Este ensayo fue hecho en el laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja. Los resultados se evidencian en el anexo 7.

Leyes minerales. A fin de conocer la concentración mineralógica existente en el relave analizado se envió las muestras al laboratorio Golden Lab, donde se analizó las leyes de oro, plata y cobre, según se indica en el anexo 8.

5.4.3. Propiedades de los áridos y pétreos.

Para la evaluación de las distintas propiedades estudiadas en los agregados de construcción se implemento las normas ASTM, correspondientes para cada análisis.

5.4.3.1 Propiedades físicas de los áridos

Contenido de humedad de los agregados.

Para conocer el contenido de humedad presente en los áridos utilizados en el diseño de hormigón patrón, se implementó la metodología de la norma ASTM C- 566.

Granulometría de los agregados.

De acuerdo a lo establecido por la norma ASTM C 136, especifica los métodos estándar para el ensayo de granulometría de áridos. Es importante destacar que el mismo procedimiento se lo desarrolló tanto para el agregado fino y el agregado grueso. La finalidad

de este estudio es obtener la curva granulométrica y el módulo de finura de los materiales cuyos parámetros se los evidencia en los anexos 9 y 10.

Densidad en masa y vacíos de los agregados

Para conocer la densidad de los agregados suelta y compactada, se implementó la norma ASTM C-29, los parámetros se detallan en los anexos 11 y 12.

Densidad de los agregados.

Este ensayo fue hecho tomando como base la norma ASTM C-127, para el agregado grueso, y, la norma ASTM C-128, para el agregado fino, los valores se encuentran detallados en el anexo 13.

Tabla 7. Normas ASTM densidad de los agregados.

Material a estudiar	Norma ASTM	Descripción
Agregado fino	ASTM-C128	Densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino
Agregado grueso	ASTM-C127	Densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso

Abrasión. Con la finalidad de conocer la durabilidad de los materiales que van a componer el hormigón, se realizó el ensayo en la máquina de “Los Ángeles”, en el laboratorio ESTSUELCON CIA. LTDA, dichos resultados se especifican en el anexo 15.

5.4.3.2 Propiedades químicas de los áridos

Para determinar las propiedades químicas de los áridos se realizó los siguientes ensayos:

Ensayo de sulfatos: Con la finalidad de determinar esta propiedad química que presentan los áridos se procedió a llevar las muestras necesarias al laboratorio ESTSUELCON CIA. LTDA, dichos resultados se especifican en el anexo 16.

Conductividad, pH, salinidad. Estos ensayos se los realizó utilizando los equipos presentes en el laboratorio de la carrera de minas de la Universidad Nacional de Loja.

5.4.3.3. Propiedades mineralógicas de los áridos

Mineralogía de los agregados. Para conocer la mineralogía de los áridos que compusieron la mezcla de hormigón, se realizaron análisis por medio del microscopio petrográfico, donde se detalló los elementos presentes en las muestras analizadas.

5.4.4. Propiedades del material combinado

De acuerdo a lo descrito por Morocho (2023), “la dosificación del relave al agregar una dosificación de 30% de relave alcanza una resistencia deseada en un hormigón, cumple

con los criterios de resistencia y es viable”, por tal motivo se decidió realizar una combinación del material utilizando la misma dosificación.

5.4.4.1. Propiedades físicas del material combinado

Densidad del material combinado. Este procedimiento se lo realizó basándose en la norma ASTM C-127, para materiales finos.

Granulometría de los agregados.

De acuerdo a lo establecido por la norma ASTM C 136, de los dos materiales anteriormente estudiados tanto del agregado fino como del relave, se procedió a realizar una interpolación a fin de obtener el módulo de finura del material combinado. Este procedimiento se detalla en el anexo 14 y 17.

Densidad en masa y vacíos de los agregados

Aplicando la norma ASTM C-29, con la combinación del material agregado fino y relave minero, se realizó este procedimiento, cuyos parámetros se detallan en el anexo 18.

Es importante recalcar que al material combinado en relación peso 70 % arena, 30 % relave únicamente se le evaluaron sus propiedades físicas las cuales fueron necesarias para el posterior diseño del hormigón.

5.4.5. Características del cemento

El cemento utilizado fue del tipo GU de HOLCIM Ecuador S.A., que es ampliamente utilizado en la región para la construcción y cumple con la norma NTE INEN 2380.

5.5. Metodología para el Segundo Objetivo

“Determinar la dosificación idónea del hormigón patrón mediante la comparación de mezclas con y sin la incorporación de relave minero, evaluando sus propiedades físico – mecánicas.”

Para el cumplimiento de este objetivo se procedió a realizar el diseño experimental del hormigón a utilizar para fabricar el durmiente cuyos elementos a utilizar son: relave minero, cemento, grava, agua y arena. Según lo indica la norma AREMA, para hormigones de tipo industrial la resistencia mínima recomendada es de 35 Mpa.

Se procedió a diseñar dos mezclas de hormigón una con relave minero y otra sin relave minero. Con el fin de evaluar cual fue la dosificación idónea llevada a cabo se implementó el diseño del hormigón a través del Método ACI-318.

5.5.1. Método ACI-318

Los parámetros obtenidos en base a el método ACI, para un hormigón de 35 MPa de resistencia, fueron los siguientes:

Resistencia a la compresión media requerida, la misma que se obtiene cuando no hay datos disponibles para la realización de la desviación estándar, es la siguiente.

Resistencia a compresión especificada, f'_c , kg/cm ²	Resistencia a compresión media requerida, kg/cm ²
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Más de 350	$1.10 f'_c + 50$

Figura 20. Resistencia a la compresión media requerida.

Nota. Recuperado de norma ACI-318

Relación agua cemento. Los datos fueron tomados en función a la siguiente tabla.

Tabla 8. Relación a/c, según la resistencia

Resistencia a la compresión a los 28 días, Mpa.	Relación A/C, por peso	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
40	0.42	-
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.6
15	0.79	0.7

Nota. Modificado por el autor, recuperado de ACI-318

En lo que concierne al caso de estudio fue necesario realizar una corrección, debido a que los durmientes de hormigón estarán expuestos severamente a los agentes externos, dicha corrección está basada en lo siguiente.

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen unitario de concreto. El volumen de agregado grueso a utilizar se obtiene a partir de la siguiente tabla.

Tabla 9. Volumen de agregado grueso

Tamaño máximo de agregado en mm	Volumen varillado seco del agregado grueso por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena			
	2.4	2.6	2.8	3
9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.6
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.8	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota. Modificado por el autor, recuperado de ACI-318

Revenimiento recomendado. Por medio de la siguiente tabla se conoció el valor del revenimiento según el elemento constructivo que se fabricó, en este caso un durmiente minero toma las mismas especificaciones técnicas de una viga.

Tabla 10. Revenimiento recomendado para varios tipos de construcción

Elementos constructivos	Revenimiento	
	Máximo	Mínimo
Muros y zapatas con refuerzo	75	25
Muros y zapatas sin refuerzo	75	25
Vigas y muros reforzados	100	25
Columnas de edificios	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Hormigón en masa	75	25

Nota. Modificado por el autor, recuperado de ACI-318

Tamaño máximo del agregado. El mismo está en función de la obra que se requiera, en este caso se consideró el valor obtenido del estudio granulométrico anteriormente realizado.

Cantidad de agua y contenido de aire. Estos valores se obtuvieron de la siguiente tabla.

Tabla 11. Requerimientos de mezclado de aire y agua incluido

	Agua Kg/m ³ según el tamaño máximo del agregado							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Revenimiento (mm)	Hormigón sin aire incluido							
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada sin aire en hormigón sin aire incluido	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Hormigón con aire incluido								
25 a 50	191	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-
Contenido promedio de aire en porcentaje según el nivel de exposición								
Exposición suave	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Expo. severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Nota. Modificado por el autor, recuperado de ACI-318

5.5.1.1. Dosificación de los materiales.

Para la dosificación respectiva de los materiales a utilizar se implementaron diferentes cálculos basados en las siguientes formulas:

Dosificación del cemento.

Masa del cemento:

$$(1) \text{ Masa cemento} = \frac{\text{masa de agua}}{a/c}$$

Densidad del cemento:

$$(2) \delta = \frac{\text{masa cemento}}{\text{volumen cemento}}$$

Volumen del cemento:

$$(3) V = \frac{\text{masa cemento}}{\delta \text{ cemento}}$$

Dosificación de la grava.

Masa de la grava

$$(4) \text{ Masa de la grava} = \text{Vol apc G} * \delta \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Volumen de la grava

$$(5) Vg = \frac{\text{masa de la grava}}{d_{ss} \text{ (grava)}}$$

Donde:

D_{ss}: Densidad en estado saturado superficialmente seco.

Dosificación de la arena.

Masa de la grava

$$(6) \text{ Masa de la arena} = \text{Volumen arena} * d_{ss} \text{ (arena)}$$

Volumen: Al ya tener conocimiento del volumen de los demás materiales este volumen no es más que el resultado de su sumatoria para 1000.

5.5.1.2. Corrección de volúmenes

Además de haber calculado los volúmenes para los áridos, a estos se les aplicó una corrección misma que se expresa en las siguientes fórmulas:

Volumen de arena, corrección;

$$(7) V_{ac} = V_{arR} * \left(1 + \frac{\%G.A}{100}\right) - \left(\frac{V_{gravaR} * \%G.A}{100}\right)$$

Volumen de grava, corrección;

$$(8) V_{ac} = V_{grabaR} * \left(1 + \frac{\%A.G}{100}\right) - \left(\frac{V_{arenaR} * \%A.G}{100}\right)$$

5.5.1.3. Cálculo de numero de parihuelas.

Los cálculos obtenidos de dosificación fueron adaptados al volumen de una parihuela, de donde se calcularon el número de parihuelas en función de la dosificación. Aplicando la siguiente fórmula:

$$(9) N^{\circ} \text{ parihuelas} = \frac{\text{Volumen aparente (dm}^3\text{)}}{\text{Volumen de la parihuela (dm}^3\text{)}}$$

Además, se realizaron cálculos y evaluaciones, los cuales se encuentran expresados en una ficha técnica, la misma que se muestra en los anexos 19 y 20.

5.5.2. *Diseño experimental*

Según lo especificado en la norma ISO 12856 (2022), los durmientes de hormigón deben resistir un esfuerzo de compresión similares al de las cargas verticales ejercidas por los vehículos ferroviarios, es decir entre (35-55) Mpa aproximadamente), de tal manera se diseñó un hormigón de 35 Mpa de resistencia.

La resistencia a la flexión se determinó en función a la norma argentina FA 7030, misma que indica que para vigas de uso industrial o también aplicada para durmientes, se requiere una resistencia de 3 Mpa.

Tabla 12. Parámetro de resistencia

Parámetros de resistencia de los durmientes de hormigón en minería		
Parámetro	Norma	Valor
Resistencia a la compresión	Norma ISO 12856	35 MPa
Resistencia a la flexión	Norma argentina FA 7030	3 MPa

5.5.3. *Propiedades Físico -mecánicas del hormigón.*

5.5.3.1. **Propiedades físicas del hormigón.**

Propiedades físicas del hormigón fresco.

Consistencia del concreto. Aplicando la norma ASTM C-136, se obtuvo la facilidad del concreto para ser manejado y trabajado eficientemente.

Peso específico. En base a la norma ASTM C-138, se realizó el análisis de peso específico del hormigón fresco, parámetro que influye en su resistencia, comportamiento estructural y durabilidad.

Propiedades físicas del hormigón endurecido.

Peso específico. A fin de conocer la densidad del hormigón endurecido, se siguió las especificaciones indicadas en la norma ASTM C-642.

$$\delta = \frac{\text{masa (kg)}}{\text{volumen (m}^3\text{)}}$$

5.5.3.2. **Propiedades mecánicas del hormigón.**

Resistencia a la compresión.

Para determinar la resistencia a la compresión simple, se usó la máquina de ensayos de compresión hidráulica, para ello fue necesario 4 probetas de hormigón común, y, 4 probetas de hormigón compuesto de relave minero, la mitad de ellas fueron probadas a los

7 días y a los 28 días de curado se probó las probetas restantes, fueron elaboradas en base a la norma ASTM C31. Los resultados de los ensayos se muestran en los anexos 21 y 22.



Figura 21. Probeta de hormigón

Resistencia a la flexión.

Según lo manifiesta ZwickRoell (s/f), el ensayo de flexión se utiliza para determinar las propiedades mecánicas en metal, plástico, madera, papel, cartón, cerámica y otros materiales. Los ensayos de flexión también son comunes en el control de calidad. Para conocer la resistencia a la flexión del hormigón diseñado se procedió a elaborar vigas del material anteriormente descrito, tomando como base a la norma ASTM C31-19, para ello fue necesario elaborar 3 vigas de hormigón común, y, 3 vigas de hormigón compuesto con relave minero, las cuales fueron probadas a los 28 días de curado.



Figura 22. Vigas de hormigón

5.6. Metodología para el Tercer Objetivo

“Diseñar un durmiente minero de hormigón armado utilizando relave minero como agregado.”

5.6.1. Dimensiones y especificaciones de los durmientes mineros.

Para la elaboración de los durmientes de hormigón se tomaron medidas base, considerando el uso que van a tener los mismos, es decir medidas estándar para los durmientes utilizados en la mina, operada por ASOPROMIN S.A., titular del área minera “O NIVEL”, con código catastral 277, misma que se encuentra en la parroquia Huertas, cantón Zaruma, provincia de El Oro, la cual opera en conjunto con la Planta de Beneficio “Playitas”. Además, a fin de corroborar los datos se realizó un cálculo de la dimensión tanto

en los durmientes de madera, así como en los de hormigón, a fin de determinar una comparativa en el empleo de los dos materiales.

Para el diseño de un durmiente minero se debe considerar aspectos teórico – prácticos, como los siguientes:

5.6.2. Diseño del durmiente de hormigón.

Este diseño se lo realizó siguiendo los parámetros establecidos por la norma AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association), realizando algunas modificaciones debido a la carga que soportan los durmientes y a el tamaño que es menor al utilizado para ferrocarriles de gran tamaño, los parámetros evaluados son los siguientes.

Tabla 13. Parámetros a evaluar para el diseño del durmiente de hormigón.

Parámetros	Formula aplicada
Cálculo del momento máximo	$M_{max} = \frac{P * L}{4}$
Presión sobre el balasto	$q = \frac{P_{total}}{A} =$
Tensión máxima permitida en el concreto.	$\sigma_{com} = 0.6 * f'c$
Tensión mínima requerida	$\sigma_{pre} = \frac{M_{max}}{b*d^2}$
Fuerza total de pretensado	$P_t = \sigma_{pre} * A_c$
Área de la sección transversal	$A_c = b * h$
Selección de los tendones de acero.	$f_{pe} = 0.8 * f_{pu}$
Área de acero necesaria	$A_p = \frac{P_t}{f_{pe}}$
Selección del número de tendones.	$A_{tendon} = \frac{\pi}{4} * (d)^2$
Número de tendones	$n = \frac{A_p}{A_{tendon}}$
Verificación de tensiones	
Tensión en el concreto bajo carga máxima	$\sigma_{total} = \frac{P_t}{A_c} - \frac{M_{max} * e}{I}$
Verificación del diseño a flexión.	$M_{flector} = P_t * e + \frac{0.85 * f'c * b * a * (d - \frac{a}{2})}{1.5}$
Verificación del diseño a tracción.	$\sigma_a = \frac{P_t}{A_c} - \frac{M_{max} * do}{I}$
Verificación a cortante	$V_{max} = \frac{Carga\ aplicada\ por\ riel}{2}$

Finalmente se realizó una representación gráfica del durmiente de hormigón pretensado, el cual se encuentra en el anexo 24.

5.6.3. Diseño de un durmiente de madera.

Con la finalidad de calcular los distintos parámetros necesarios para el diseño del durmiente de madera se procedió a utilizar las siguientes fórmulas.

Tabla 14. Parámetros de evaluación para el diseño del durmiente de madera.

Parámetros	Fórmulas
Longitud del durmiente.	$L = e + 2b + 2m$
Espesor del durmiente.	$h = J + \frac{1}{4} \text{pulg}$
Ancho del durmiente.	$a = 1.4J$
Área de contacto con la placa del riel	$A_{placa} = b_{pag} * y_{o_{pag}}$
Presión en la superficie de contacto	$\sigma_{placa} = \frac{PAG_{riel}}{A_{placa}}$
Esfuerzo máximo de flexión	$\sigma_{max} = \frac{M_{max} * c}{I}$
Esfuerzo máximo cortante	$\tau_{max} = \frac{1.5 * V_{max}}{b * h}$
La deflexión máxima permitida	$\delta_{permitida} = \frac{L}{360}$
La deflexión calculada	$\delta_{max} = \frac{P1 * a * (L^2 - a^2)}{24 * E * I}$
Presión en la base del durmiente	$A_{base} = bd * y_o$
Presión sobre el balasto:	$Presión_{balasto} = \frac{P_{total}}{A_{base}}$
Cálculo del factor de seguridad	$Factor_{de\ seguridad} = \frac{Capacidad_{portante}}{Presion_{aplicada}}$

Finalmente se desarrolló un plano, mismo que se lo encuentra en el anexo 23.

5.6.4. Evaluación económica

En esta etapa, se valoró el costo necesario para la elaboración de un durmiente de hormigón, utilizando el relave de la Planta de Beneficio “Playitas”, elaborando una comparativa entre estos durmientes y los de madera. Para ello se empleó la metodología del análisis de precios unitarios de todos los elementos constitutivos de los durmientes de madera y de hormigón.

6. Resultados

6.1. Resultado del Primer Objetivo

“Caracterizar las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los materiales componentes del hormigón a base de relave minero de la planta de beneficio “Playitas””

6.1.1. Muestreo de los materiales

Muestreo del relave minero. Con la finalidad de conocer la exacta ubicación del muestreo realizado, se elaboró una tabla donde se evidencie las coordenadas de toma de muestras, representadas en la siguiente tabla.

Tabla 15. Coordenadas de muestreo de relave minero

Muestra	Coordenadas UTM/PSAD56/17S		
	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (m.s.n.m)
M002	650804.9	9585141.86	929
M003	650802	9585142	930
M005	650799	9585139	929

Muestreo de los agregados. Los puntos de muestreo fueron realizados en las diferentes zonas de stock del área minera, dependiendo del tipo de material, las coordenadas de dichos puntos son las siguientes.

Tabla 16. Coordenadas de muestreo de los agregados

Muestra	Coordenadas UTM/PSAD56/17S		
	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (m.s.n.m)
Agregados finos			
M001	650750.00	9583637.00	935
M002	650748.00	9583644.00	936
M003	650758.00	9583644.00	936
M004	650763.00	9583639.00	935
M005	650758.00	9583634.00	935
Agregados gruesos			
M001	650663.00	9583578.00	937
M002	650669.00	9583581.00	936
M003	650667.00	9583586.00	938
M004	650655.00	9583585.00	937
M005	650657.00	9583580.00	937

6.1.2. Propiedades del relave minero

6.1.2.1. Propiedades físicas.

Contenido de humedad. El análisis del contenido de humedad del relave minero procedente de la planta de beneficio “Playitas”, se lo realizó tomando como guía la norma ASTM C-566.

Tabla 17. Contenido de humedad del relave minero.

Contenido de humedad del relave minero						
Muestra	M001	M002	M003	M004	Promedio	Porcentaje de humedad
Porcentaje de humedad	16.67	17.25	16.74	16.86	16.88	%

Peso específico real. Una vez realizados los ensayos aplicando la metodología de la norma ASTM C- 128.

Tabla 18. Peso específico aparente del relave

Muestra	M001	M002	M003	Promedio
Unidades	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
Densidad	2.73	2.74	2.72	2.73

Granulometría. El análisis granulométrico se lo realizó tomando como base la norma ASTM C136, cuyos resultados están expresados en función a la curva granulométrica.

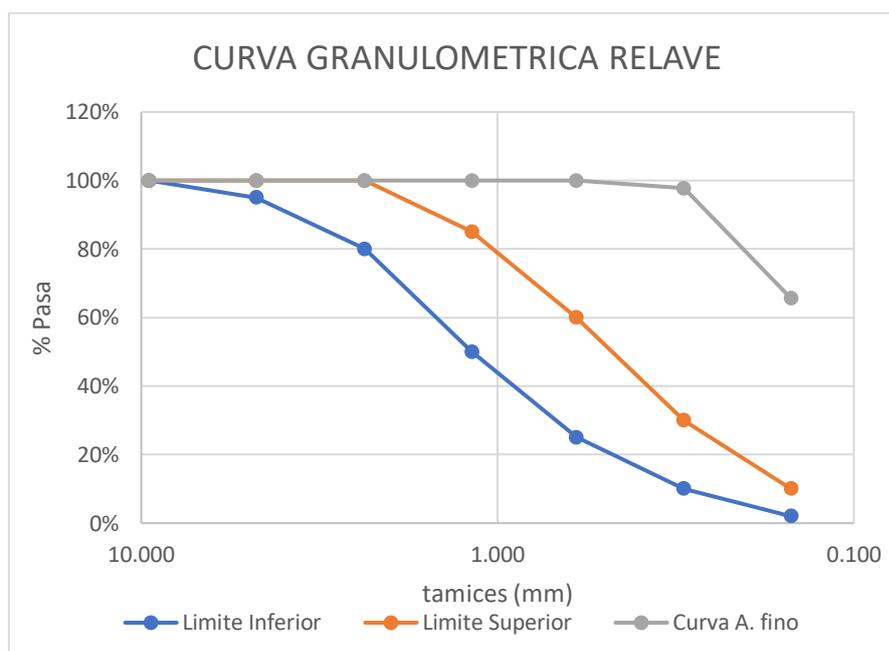


Figura 23. Curva granulométrica del relave minero

El módulo de finura se lo calcula en función al siguiente formulismo: del material es de 1.09.

$$M. F = \frac{\sum \text{porcentaje retenido en cada tamiz}}{100}$$

$$M.F = \frac{0 + 0 + 0 + 2.28 + 34.41 + 72.42}{100} = 1.09$$

6.1.2.2. Propiedades químicas del relave minero

Salinidad, conductividad ph. Los ensayos químicos realizados al material de estudio, son de conductividad, salinidad y pH, mismos que se detallan a continuación.

Tabla 19. Propiedades químicas del relave minero

PROPIEDADES QUÍMICAS DEL RELAVE			
MUESTRAS	SALINIDAD	CONDUCTIVIDAD	Ph
N°	%	μS/cm	-
M001	0.6	1 293	7.93
M002	0.4	939	7.37
PROMEDIO	0.5	1 116	7.65

Fluorescencia de rayos x. Los resultados del ensayo de Fluorescencia de Rayos X (FRX), son los siguientes.

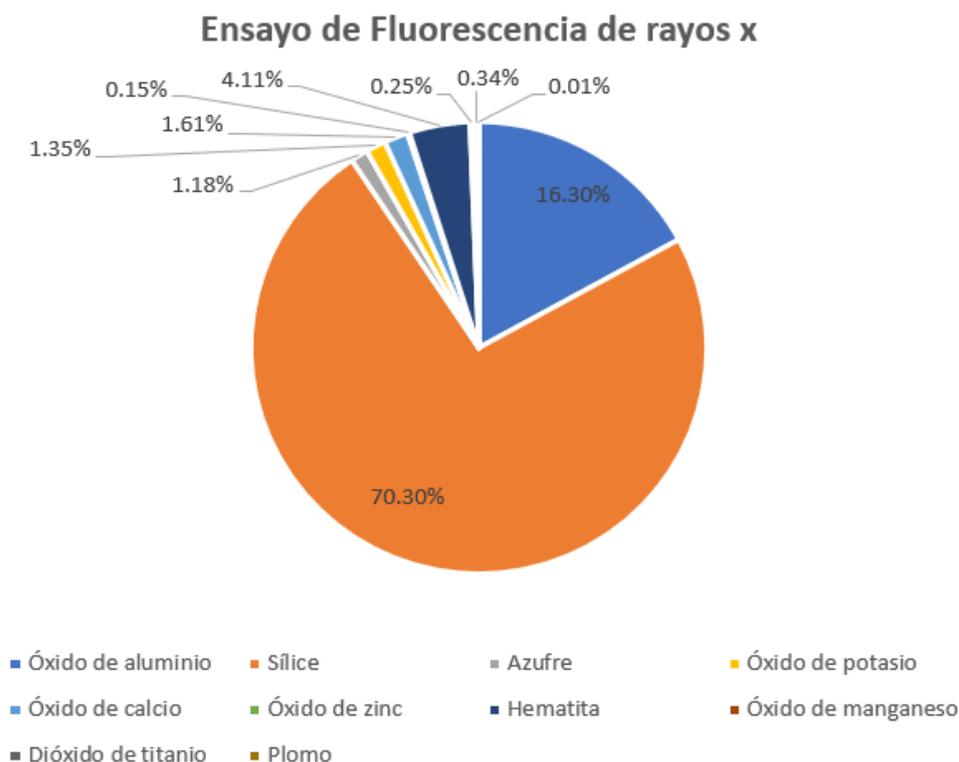


Figura 24. Muestra analizada por ensayo FRX.

6.1.2.3. Propiedades mineralógicas del relave minero

Difracción de rayos X. El estudio aplicando DRX, de la muestra de relave presenta los siguientes resultados.

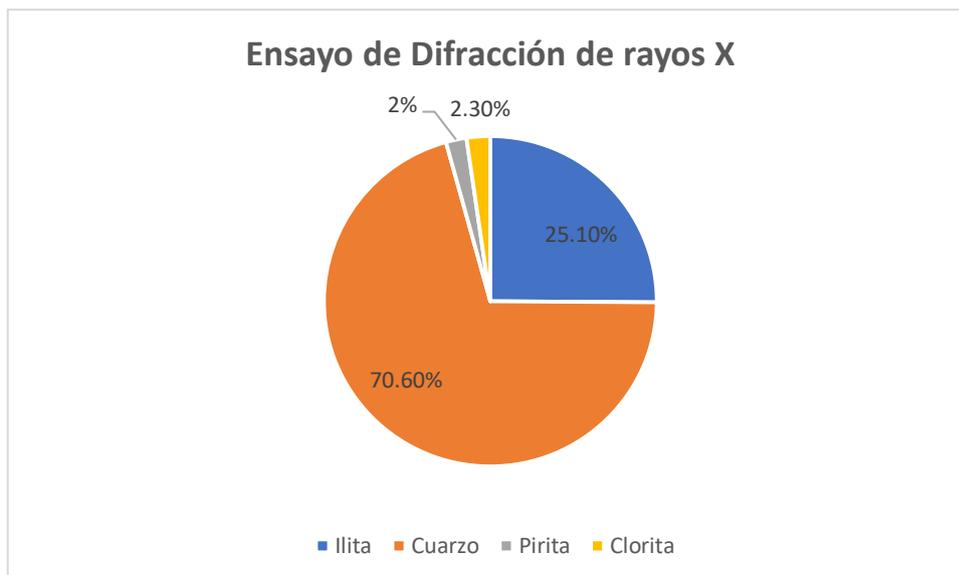


Figura 25. Resultados cuantitativos, mediante ensayo DRX.

Leyes minerales. El relave minero presenta las siguientes leyes minerales analizadas de oro, plata y cobre

Tabla 20. Leyes minerales de Oro, Plata y cobre.

Leyes minerales			
Elementos	Au	Ag	Cu
	Oro-total	Plata-total	Cobre-total
Unidades	gr/ton	gr/ton	%
	0.30	2.83	2.28

6.1.3. Propiedades del agregado fino

6.1.3.1. Propiedades físicas

Contenido de humedad. Según lo establecido en la norma ASTM C566, el contenido de humedad para la arena presenta los siguientes resultados.

Tabla 21. Contenido de humedad del agregado fino

Número de ensayos	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
N°	%	%	%	%
M001	1.03	1.06	1.01	1.03

Granulometría. La relación del tamaño de las partículas del agregado fino (arena), realizada en base a la norma ASTM C-422, cuya curva granulométrica es la siguiente.

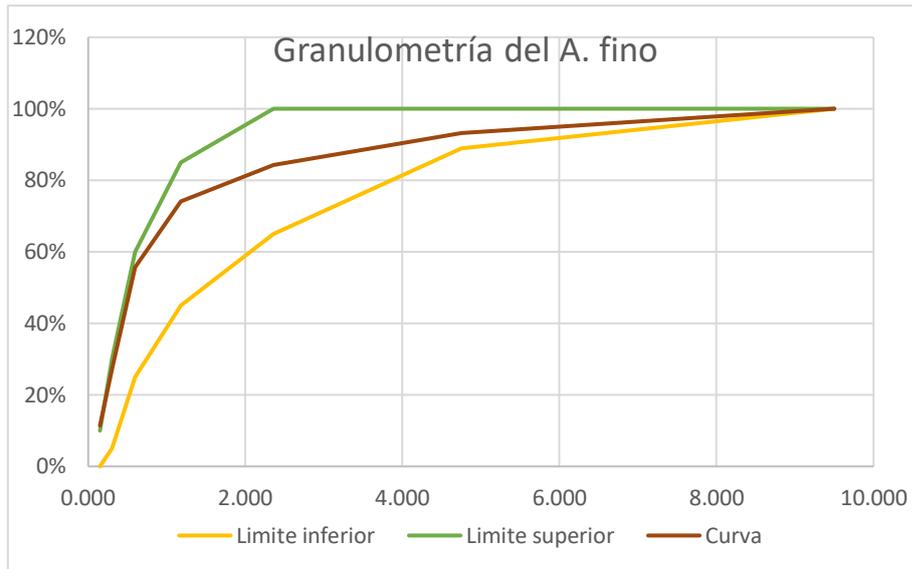


Figura 26. Curva granulométrica del agregado fino

El módulo de finura se calculó en función a la siguiente formula: del agregado fino es 2.74

$$M.F = \frac{\sum \text{porcentaje retenido en cada tamiz}}{100}$$

$$M.F = \frac{1.25 + 1.25 + 1.34 + 2.93 + 9.55 + 18.33 + 28.42 + 46.48 + 74.37 + 90.44}{100} = 2.74$$

Peso unitario suelto y compactado. Esta propiedad se la obtuvo tomando como base la norma ASTM C29, cuyos resultados están representados en las siguientes tablas.

Tabla 22. Peso unitario suelto del agregado fino

Número de ensayos	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Unidades	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
Resultados	1.64	1.65	1.61	1.63

Tabla 23. Peso unitario compactado del agregado fino

Número de ensayos	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Unidades	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
Resultados	1.77	1.74	1.8	1.77

Densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino. Los resultados de estos ensayos elaborados según la norma ASTM C128, se muestran a continuación.

Tabla 24. Densidad y porcentaje de absorción

NORMA ASTM C128		
RESULTADOS		Unidades
DENSIDAD RELATIVA SSS	2.631	gr/cm ³
ABSORCION:	0.54%	%

6.1.2.2. Propiedades químicas del agregado fino

Ensayo de sulfatos. La resistencia a la disgregación del material fino sometido a una solución de sulfato de magnesio, presenta un desgaste a sulfatos fino de 10.8 %.

Salinidad, conductividad y pH. Los valores de salinidad, pH, conductividad se presentan a continuación.

Tabla 25. Conductividad, salinidad y pH del agregado fino.

PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGREGADO FINO			
MUESTRAS	SALINIDAD	CONDUCTIVIDAD	Ph
N°	%	μS/cm	-
M001	0.1	677	7.6

6.1.2.3. Propiedades mineralógicas del agregado fino

El análisis mineralógico del agregado fino presenta los siguientes resultados.

Tabla 26. Análisis microscópico del agregado fino.

Descripción mineralógica del agregado fino			
			
Elemento	Porcentaje (%)	Clasificación	Propiedades relevantes
Cuarzo	40	Silicato	Alta dureza (7 Mohs), resistencia química.
Moscovita	25	Filosilicato	Baja dureza (2-2,5 Mohs), exfoliación perfecta
Hematita	15	Óxido	Mineral de hierro, dureza 5-6 Mohs
Pirita	5	Sulfuro	Brillo metálico, dureza 6-6,5 Mohs.
Biotita	4	Filosilicato	Exfoliación basal, fragilidad alta.
Feldespatos	3	Tectosilicato	Componente esencial de rocas ígneas

6.1.4. Propiedades del agregado grueso

6.1.4.1. Propiedades físicas

Contenido de humedad. Según lo establecido en la norma ASTM C-566, el contenido de humedad para los agregados gruesos son los siguientes.

Tabla 27. Contenido de humedad del agregado grueso

Número de ensayos N°	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
M001	0.30	0.32	0.31	0.31

Granulometría. El análisis granulométrico del agregado grueso presenta como resultado la siguiente curva granulométrica. Tomando como base la norma ASTM C136.

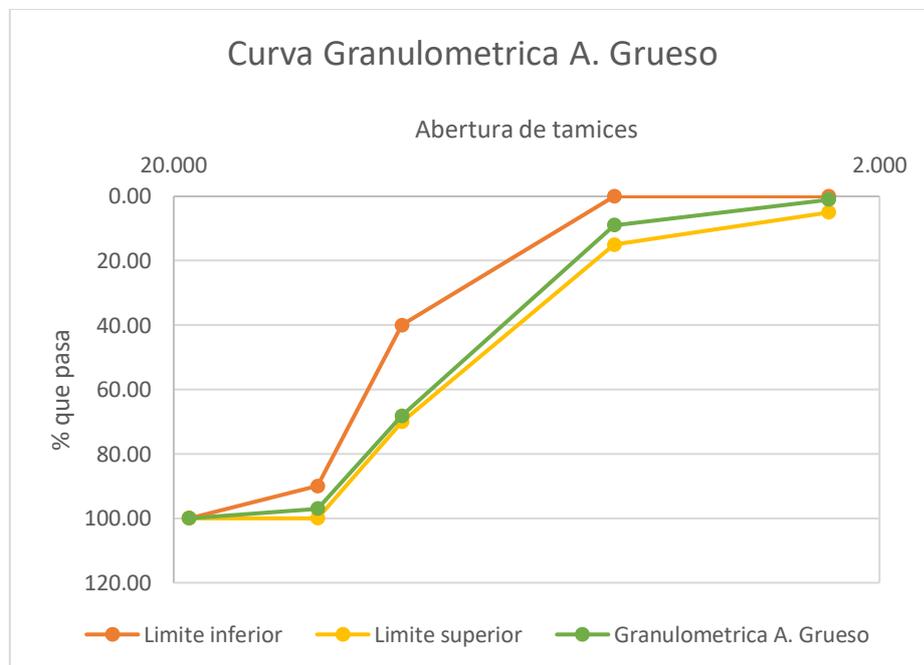


Figura 27. Curva granulométrica del agregado grueso.

El agregado grueso presenta un módulo de finura de 6.21.

$$M.F = \frac{\sum \text{porcentaje retenido en cada tamiz}}{100}$$

$$M.F = \frac{31.90 + 91.05 + 98.94 + 99.88}{100} = 6.21$$

Densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso. Estos parámetros están representados en las siguientes tablas tomando como base la norma ASTM C127.

Tabla 28. Densidad en estado SSS

NORMA ASTM C127		
RESULTADOS		
PESO ESPECIFICO	2.52	gr/cm ³
PESO ESPECIFICO SSS	2.56	gr/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.64	gr/cm ³
ABSORCIÓN	1.83	%

Ensayo de abrasión. El ensayo de abrasión elaborado en base a la norma INEN 861, arroja un desgaste a la abrasión de 21.31 %.

Peso unitario suelto y compactado. Esta propiedad se la obtuvo tomando como base la norma ASTM C29, cuyos resultados están representados en las siguientes tablas.

Tabla 29. Peso unitario suelto del agregado grueso.

Número de ensayos	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Unidades	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
Resultados	1.33	1.35	1.37	1.35

Tabla 30. Peso unitario compactado del agregado grueso.

Número de ensayos	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Unidades	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
Resultados	1.49	1.50	1.50	1.49
	PUC Promedio			gr/cm ³

6.1.4.2. Propiedades químicas del agregado grueso

Sulfatos, conductividad y pH. Los valores de salinidad, pH, conductividad se presentan a continuación.

Tabla 31. Conductividad, salinidad y pH del agregado fino.

PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGREGADO GRUESO			
MUESTRAS	SALINIDAD	CONDUCTIVIDAD	Ph
N°	%	μS/cm	-
M001	0.15	679	7.7

6.1.4.3. Propiedades mineralógicas

Las propiedades mineralógicas del agregado grueso se las realizaron mediante revisión mineralógica de una muestra de forma macroscópica.

Tabla 32. Descripción mineralógica del agregado grueso.

Análisis mineralógico del agregado grueso			
			
Minerales	Color	Brillo	Observaciones
Cuarzo	Blanco a gris	Vítreo	Mineral común en agregados, alta resistencia al desgaste
Hematita	Rojo oscuro a negro	Metálico terroso	Presente en rocas ferruginosas, importante para beneficio de hierro
Pirita	Amarillo dorado	Metálico	Sulfuro de hierro, asociado a menas metálicas y procesos de oxidación
Moscovita	Incolora a plateada	Nacarado	Exfoliación perfecta en láminas, puede estar en esquistos
Biotita	Negro a marrón oscuro	Nacarado a metálico	Común en rocas metamórficas y graníticas
Feldespatos	Blanco, rosado y gris	Vítreo	Mineral esencial en rocas ígneas y sedimentos

6.1.5. Propiedades del material combinado

6.1.5.1. Propiedades físicas

Granulometría. La relación del tamaño de las partículas del agregado fino (arena), realizada en base a la norma ASTM C-422, cuya curva granulométrica es la siguiente.

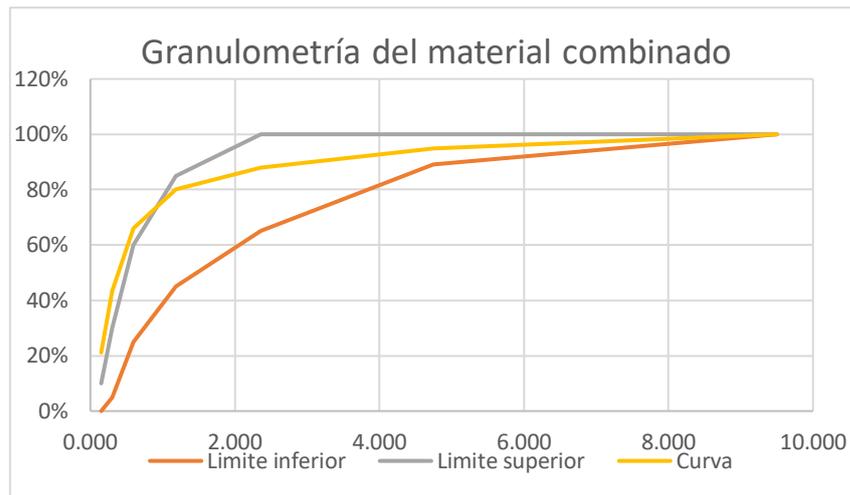


Figura 28. Curva granulométrica del agregado fino

El módulo de finura se calculó en función a la siguiente formula: del agregado fino es 2.74

$$M.F = \frac{\sum \text{porcentaje retenido en cada tamiz}}{100}$$

$$M.F = \frac{0.97 + 0.97 + 1.04 + 7.39 + 14.18 + 35.96 + 58.23 + 8.30 + 96.87}{100}$$

$$M.F = 2.23$$

Peso unitario suelto y compactado. Esta propiedad se la obtuvo tomando como base la norma ASTM C29, cuyos resultados están representados en las siguientes tablas.

Tabla 33. Peso unitario suelto del agregado fino más relave

Número de ensayos	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Unidades	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
Resultados	1.39	1.39	1.38	1.39

Tabla 34. Peso unitario compactado del agregado fino

Número de ensayos	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
Unidades	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³
Resultados	1.67	1.68	1.68	1.68

Densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino. Los resultados de estos ensayos elaborados según la norma ASTM C128, se muestran a continuación.

Tabla 35. Densidad y porcentaje de absorción

NORMA ASTM C128		
RESULTADOS		Unidades
DENSIDAD RELATIVA SSS	2.74	gr/cm ³
ABSORCION:	4.17%	%

6.1.5.2. Propiedades químicas del material combinado

Ensayo de sulfatos. La resistencia a la disgregación del material fino sometido a una solución de sulfato de magnesio, presenta un desgaste a sulfatos fino de 13.6 %.

Salinidad, conductividad y pH. Los valores de salinidad, pH, conductividad se presentan a continuación.

Tabla 36. Conductividad, salinidad y pH del agregado fino.

PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGREGADO FINO			
MUESTRAS	SALINIDAD	CONDUCTIVIDAD	Ph
N°	%	μS/cm	-
M001	0.3	896.5	7.63

6.1.6. Propiedades del cemento.

Las propiedades del cemento Holcim, son las detalladas a continuación.

Tabla 37. Propiedades del cemento HOLCIM

Propiedades del cemento HOLCIM	
Propiedades	Descripción
Estado físico	Sólido
pH	12 – 13
Solubilidad	Ligera entre (0.1 – 1) %
Resistencia a la compresión a 28 días	30 Mpa
Densidad	2.98 gr/cm ³
Gravedad específica	2.95 – 3.1

Nota. Recuperado de Holcim (s.f)

6.2. Resultados del segundo objetivo

“Determinar la dosificación idónea del hormigón patrón mediante la comparación de mezclas con y sin la incorporación de relave minero, evaluando sus propiedades físico – mecánicas.”

6.2.1. Diseño del hormigón patrón sin relave

Por medio del uso de la metodología ACI-318, para hormigones de resistencia de 350 kg/cm², se desarrolló el estudio de la dosificación idónea de los materiales componentes del hormigón patrón, con los datos obtenidos a partir del estudio de sus propiedades, los mismos que se resumen a continuación.

Tabla 38. Datos de los materiales.

Materiales	Densidad (sss)	Datos de los materiales		Módulo de finura	Porcentaje de adsorción
		Densidad en estado aparentemente compactado	Densidad en estado aparentemente suelto		
Unidades	gr/cm^3	gr/cm^3	gr/cm^3	-	%
Cemento	3.15				
Arena	2.631	1.770	1.63	2.32	0.54
Grava	2.567	1.490	1.35	6.21	1.83

6.2.1.1. Cálculo de las variables. Para el cálculo de las variables se toma en cuenta los parámetros indicados en la metodología en función de la necesidad del estudio, dando como resultados los siguientes parámetros.

Tabla 39. Parámetros de diseño de hormigón común.

Parámetros de diseño		
Variables	Unidades	Valores
Relación agua-cemento	-	0.39
Volumen de agregado grueso	L	600
Porcentaje de grava en la arena	%	9.55
Asentamiento	Cm	8.75
Agua	L	219
Porcentaje de arena en la grava	%	8.95
Tamaño máximo del agregado	-	12.5
Porcentaje de aire	%	2.50

Resistencia a la compresión media requerida. Se calculó a partir de los datos obtenidos de la figura 21, donde se reemplaza con la siguiente fórmula.

$$f'c + 84 =$$

$$350 \frac{kg}{cm^2} + 84 = 434 \frac{kg}{cm^2} \approx 43.5 Mpa$$

Relación agua cemento. Dato obtenido al usar la tabla 8, al realizar una interpolación de los datos de dicha tabla.

$$\frac{a}{c} = y1 + \left(\left(\frac{x - x1}{x2 - x1} \right) (y2 - y1) \right) =$$

$$\frac{a}{c} = 0.42 + \left(\left(\frac{43.5 - 40}{45 - 40} \right) (0.37 - 0.42) \right) = 0.39$$

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen unitario de concreto. Tomando en consideración lo establecido por la tabla 9, se obtiene dicho valor. El mismo que es de $0.6 m^3$, dicho valor expresado en litros es de 600.

Revenimiento. El valor del revenimiento recomendado se lo obtuvo a partir de la tabla 10, misma que para hormigones en masa establece un valor de (7.5 a 10) cm, se tomó el valor medio de 8.75 cm.

Tamaño máximo del agregado. Es el valor establecido previamente a partir del estudio granulométrico, al elegir una grava de ½ pulgada, el valor que el diseño dispone en milímetros es de 12.5 mm.

Cantidad de agua y contenido de aire. En función al revenimiento recomendado y al agua en kg/m³, los valores se obtienen en base a la tabla 11, son los siguientes y para cuyo cálculo se realizó una interpolación.

$$\text{Contenido de aire} = 228 + \left(\left(\frac{87.5 - 70}{100 - 75} \right) (216 - 228) \right) = 219$$

6.2.1.2. Dosificación. El cálculo de la dosificación se lo realiza tomando en cuenta los siguientes parámetros. Los cálculos fueron realizados en función a las fórmulas 4, 5 y 6, expresadas en la metodología.

Tabla 40. Dosificación del hormigón patrón

Material	Dosificación					
	Volumen Real (kg)	Dosificación. Peso Kg	Dosificación unitaria kg	Dosificación Saco kg	Volumen Aparente dm ³	Volumen aparente
Cemento	176	555	1.00	50		555
Agua	219	219	0.39	19.72	33.69	219
Arena	232	609	1.10	54.91	59.69	374
Grava	348	894	1.61	80.58		662

A este valor se le aplica una corrección la misma que consiste en los siguientes parámetros.

Volumen de arena, corrección;

$$Vac = VarR * \left(1 + \frac{\%G.A}{100} \right) - \left(\frac{VgravaR * \%A.G}{100} \right)$$

$$Vac = 232 * \left(1 + \frac{9.55}{100} \right) - \left(\frac{348 * 8.95}{100} \right) = 223$$

Volumen de grava, corrección;

$$Vac = VgrabaR * \left(1 + \frac{\%A.G}{100} \right) - \left(\frac{VarenaR * \%G.A}{100} \right)$$

$$Vac = 348 * \left(1 + \frac{8.95}{100} \right) - \left(\frac{232 * 9.55}{100} \right) = 357$$

Tabla 41. Corrección de la dosificación de la arena y grava.

Corrección de arena y grava						
Material	Volumen real (dcm ³)	Dosificación en peso (kg)	Dosificación unitaria (kg)	Dosificación en saco (kg)	Volumen aparente (dcm ³)	Parihuelas
Arena	223	586	1.06	52.77	32.37	0.90
Grava	357	918	1.65	82.67	61.24	1.70
Cemento	176	555	1.00	50		555
Agua	219	219	0.39	19.72	33.69	219

De tal manera la dosificación idónea para elaborar un durmiente de hormigón sin relave minero es la siguiente, considerando el volumen de hormigón a utilizar

NUMERO	BASE	ALTURA	LARGO	VOLUMEN	FACTOR	VOLUMEN T
1	0.15	0.15	1.2	0.027	1.5	0.0405

MATERIAL	PESO (Kg)
CEMENTO	22.47
AGUA	8.86
ARENA	23.72
GRAVA	37.16

Figura 29. Dosificación idónea en peso, durmiente sin relave

Es importante mencionar que el contenido de la dosificación fue descrito en número de parihuelas 35 937 cm³. Este cálculo se lo desarrolló utilizando una ficha la misma que se encuentra elaborada en el anexo 19.

6.2.2. Diseño del hormigón patrón con relave minero.

Por medio del uso de la metodología ACI, para hormigones de resistencia de 350 kg/cm², se desarrolló el estudio de la dosificación idónea de los materiales componentes del hormigón patrón, al momento de añadir el relave minero se tomó en consideración la metodología de Lalangui & Méndez (2021), en la cual manifiesta recomendable el uso de relave en una mezcla de hormigón de menos del 50 %, tomando como valor optimo el uso de 30% de relave cuya dosificación resulta adecuada en el diseño del hormigón. con los datos obtenidos a partir del estudio de sus propiedades, los mismos que se resumen a continuación.

Tabla 42. Datos de los materiales.

Materiales	Densidad (sss)	Datos de los materiales		Módulo de finura	Porcentaje de adsorción
		Densidad en estado aparentemente compactado	Densidad en estado aparentemente suelto		
Unidades	gr/cm^3	gr/cm^3	gr/cm^3	-	%
Cemento	3.15				
Arena	2.670	1.680	1.39	1.88	4.17
Grava	2.567	1.490	1.35	6.21	1.83

6.2.2.1. Cálculo de las variables. Para el cálculo de las variables se toma en cuenta los parámetros indicados en la metodología en función de la necesidad del estudio, dando como resultados los siguientes parámetros.

Tabla 43. Parámetros de diseño de hormigón común.

Parámetros de diseño		
Variables	Unidades	Valores
Relación agua-cemento	-	0.39
Volumen de agregado grueso	L	644
Porcentaje de grava en la arena	%	7.39
Asentamiento	Cm	8.75
Agua	L	219
Porcentaje de arena en la grava	%	8.95
Tamaño máximo del agregado	-	12.5
Porcentaje de aire	%	2.50

Resistencia a la compresión media requerida. Se calculó a partir de los datos obtenidos de la figura 21, donde se reemplaza con la siguiente fórmula.

$$f'c + 84 =$$

$$350 \frac{kg}{cm^2} + 84 = 434 \frac{kg}{cm^2} \approx 43.5 Mpa$$

Relación agua cemento. Dato obtenido al usar la tabla 8, al realizar una interpolación de los datos de dicha tabla.

$$\frac{a}{c} = y1 + \left(\left(\frac{x - x1}{x2 - x1} \right) (y2 - y1) \right) =$$

$$\frac{a}{c} = 0.42 + \left(\left(\frac{43.5 - 40}{45 - 40} \right) (0.37 - 0.42) \right) = 0.39$$

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen unitario de concreto. Tomando en consideración lo establecido por la tabla 9, se obtiene dicho valor. El mismo que es de 0.644 m³, dicho valor expresado en litros es de 644.

Revenimiento. El valor del revenimiento recomendado se lo obtuvo a partir de la tabla 10, misma que para hormigones en masa establece un valor de (7.5 a 10) cm, se tomó el valor medio de 8.75 cm.

Tamaño máximo del agregado. Es el valor establecido previamente a partir del estudio granulométrico, al elegir una grava de ½ pulgada, el valor que el diseño dispone en milímetros es de 12.5 mm.

Cantidad de agua y contenido de aire. En función al revenimiento recomendado y al agua en kg/m³, los valores se obtienen en base a la tabla 11, son los siguientes y para cuyo cálculo se realizó una interpolación.

$$\text{Contenido de aire} = 228 + \left(\left(\frac{87.5 - 70}{100 - 75} \right) (216 - 228) \right) = 219$$

6.2.2.2. Dosificación. El cálculo de la dosificación se lo realiza tomando en cuenta las fórmulas 4, 5 y 6, expresadas en la metodología.

Tabla 44. Dosificación del hormigón patrón

Material	Dosificación					
	Volumen Real (kg)	Dosificación. Peso Kg	Dosificación unitaria kg	Dosificación Saco kg	Volumen Aparente dm ³	Volumen aparente
Cemento	176	555	1.00	50		555
Agua	219	219	0.39	19.72	35.67	219
Arena	206	550	0.99	49.58	64.06	396
Grava	374	960	1.73	86.49		711

A este valor se le aplica una corrección la misma que consiste en los siguientes parámetros.

Volumen de arena, corrección;

$$Vac = VarR * \left(1 + \frac{\%G.A}{100} \right) - \left(\frac{VgravaR * \%A.G}{100} \right)$$

$$Vac = 206 * \left(1 + \frac{7.39}{100} \right) - \left(\frac{374 * 8.95}{100} \right) = 188$$

Volumen de grava, corrección;

$$Vac = VgravaR * \left(1 + \frac{\%A.G}{100} \right) - \left(\frac{VarenaR * \%G.A}{100} \right)$$

$$Vac = 348 * \left(1 + \frac{8.95}{100} \right) - \left(\frac{232 * 9.55}{100} \right) = 392$$

Tabla 45. Corrección de la dosificación de la arena y grava.

Corrección de arena y grava						
Material	Volumen real (dcm ³)	Dosificación en peso (kg)	Dosificación unitaria (kg)	Dosificación en saco (kg)	Volumen aparente (dcm ³)	Parihuelas
Arena	188	502	0.90	45.20	32.52	0.90
Grava	392	1007	1.81	90.70	67.19	1.87
Cemento	176	555	1.00	50.00		555
Agua	219	219	0.39	19.72		219

La dosificación idónea en peso del hormigón con relave minero, es la siguiente.

NÚMERO	BASE	ALTURA	LARGO	VOLUMEN	FACTOR	VOLUMEN T.
1	0.15	0.15	1.2	0.027	1.5	0.0405

MATERIAL	PESO (Kg)
CEMENTO	22.47
AGUA	8.86
ARENA	20
GRAVA	40.77

Figura 30. Dosificación idónea de hormigón compuesto

Es importante mencionar que el contenido de la dosificación fue descrito en número de parihuelas 35 937 cm³. Este cálculo se lo desarrolló utilizando una ficha la misma que se encuentra elaborada en el anexo 20.

6.2.3. Propiedades físico-mecánicas del hormigón

6.2.3.1. Propiedades físicas del hormigón

Pruebas en hormigón fresco.

- **Asentamiento en el cono de Abrams.** Los resultados obtenidos al realizar el ensayo de cono de Abrams, son los expresados en la siguiente tabla.

Tabla 46. Asentamiento del hormigón.

Hormigón sin relave	
Numero de ensayos	Asentamiento (cm)
Ensayo 1	8.6
Ensayo 2	8.7
Hormigón con relave	
Numero de ensayos	Asentamiento (cm)
Ensayo 1	8.5
Ensayo 2	8.6

- **Densidad del hormigón fresco.**

Tabla 47. Densidad del hormigón fresco.

Hormigón sin relave	
Numero de ensayos	Densidad (Kg/m³)
Dosificación 1	2277
Hormigón con relave	
Numero de ensayos	Densidad (Kg/m³)
Dosificación 2	2284

- **Densidad del hormigón endurecido**

Tabla 48. Densidad del hormigón endurecido.

Hormigón sin relave		
Numero de ensayos	Densidad (Kg/m³)	Promedio (Kg/m³)
Ensayo 1	2251	
Ensayo 2	2255.6	2253.63
Ensayo 3	2254.3	
Hormigón con relave		
Numero de ensayos	Densidad (Kg/m³)	Promedio (Kg/m³)
Ensayo 1	2265.5	
Ensayo 2	2211.5	2268.77
Ensayo 3	2269.3	

Pruebas en hormigón endurecido.

- **Resistencia a la compresión simple.**

Los ensayos realizados al hormigón estudiado fueron desarrollados en dos periodos a los 7 y a los 28 días de curado.

Tabla 49. Resistencia a la compresión simple del hormigón.

Compresión simple a los 7 días				
Tipo de hormigón	Código de muestra	Tiempo de curado	Resistencia	Resistencia requerida
		Días	Kg/cm ²	Kg/cm ²
Hormigón con relave	HSR-01	07	229.19	223
	HSR-02	07	242.33	223
Hormigón simple	HCR-01	07	264.91	223
	HCR-02	07	267.95	223
Compresión simple a los 28 días				
Tipo de hormigón	Código de muestra	Tiempo de curado	Resistencia	Resistencia requerida
		Días	Kg/cm ²	Kg/cm ²
Hormigón con relave	HSR-03	28	363.76	350
	HSR-04	28	368.79	350
Hormigón simple	HCR-03	28	374.18	350
	HCR-04	28	397.24	350

- **Resistencia a la flexión.**

Los ensayos a la flexión realizados al hormigón diseñado se los realizó a los 28 días, cuyos resultados se expresan en la siguiente tabla.

Tabla 50. Resistencia a la flexión.

Tipo de hormigón	Código de muestra	Tiempo de curado Días	Resistencia MPa	Resistencia promedio MPa
Hormigón sin relave	HSR-01	28	1.16	1.19
	HSR-02		1.22	
	HSR-03		1.19	
Hormigón con relave	HCR-01	28	1.11	1.12
	HCR-02		1.13	
	HCR-03		1.11	

6.3. Resultados del tercer objetivo

“Diseñar un durmiente minero de hormigón armado utilizando relave minero como agregado.”

Para el cumplimiento de este objetivo se tomó como base la norma AREMA, misma que es un manual que brinda pautas y parámetros que guían al diseñador para la construcción de elementos relacionados a las vías férreas. De igual manera se procedió a realizar una comparativa entre durmientes de madera y de hormigón partiendo por su diseño.

6.3.1. Diseño del durmiente de hormigón.

Para este diseño se toma como base algunos requerimientos de la norma AREMA, basando los cálculos en los siguientes datos, tomando en consideración el peso total anteriormente calculado.

Tabla 51. Datos del diseño de durmiente de hormigón

Datos de diseño	
Longitud del durmiente	1.2 m
Ancho del durmiente	0.15 m
Espesor del durmiente	0.15 m
Carga máxima aplicada	2.5 toneladas ($\approx 24,525$ N)
Trocha	0.6 m
Separación entre durmientes	0.80 m
Peso del riel	30 lb/yarda ≈ 14.88 kg/m
Resistencia del concreto	35 MPa

Carga que soporta el durmiente sin incluir los rieles:

$$\text{Peso sobre durmiente} = P * \frac{S}{L}$$

$$\text{Peso sobre durmiente} = 24.525N * \frac{0.8m}{1.2m} = 16.350 N$$

Carga que soporta el durmiente incluyendo los rieles:

$$q_{riel} = 14.88 \frac{Kg}{m} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 146.04 \frac{N}{m}$$

$$q_{rielTotal} = 2 * q_{riel} * s$$

$$q_{riel} = 2 * 146.04 \frac{N}{m} * 0.8m = 233.56 N$$

Peso total = Peso sobre el durmiente + peso del riel

$$\text{Peso total} = 16.350 N + 233.56 N = 16 583.56 N$$

Carga sobre los rieles:

$$P_{riel} = \frac{P_{total}}{2}$$

$$P_{riel} = \frac{16 583.56 N}{2} = 8 291.78 N$$

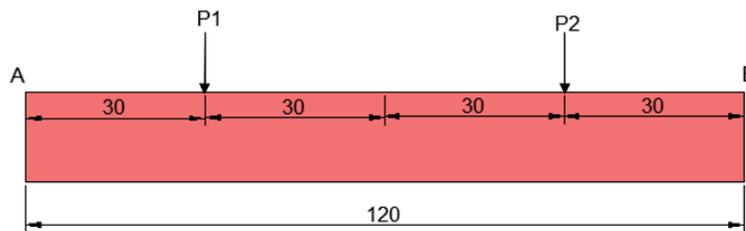


Figura 31. Esquema del durmiente diseñado

Carga que soporta el durmiente sin incluir los rieles:

$$\text{Peso sobre durmiente} = P * \frac{S}{L}$$

$$\text{Peso sobre durmiente} = 24.525N * \frac{0.8m}{1.2m} = 16.350 N$$

Carga que soporta el durmiente incluyendo los rieles:

$$q_{riel} = 14.88 \frac{Kg}{m} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 146.04 \frac{N}{m}$$

$$q_{rielTotal} = 2 * q_{riel} * s$$

$$q_{riel} = 2 * 146.04 \frac{N}{m} * 0.8m = 233.56 N$$

Peso total = Peso sobre el durmiente + peso del riel

$$\text{Peso total} = 16.350 N + 233.56 N = 16 583.56 N$$

Carga sobre los rieles:

$$P_{riel} = \frac{P_{total}}{2}$$

$$P_{riel} = \frac{16\,583.56\text{ N}}{2} = 8\,291.78\text{ N}$$

Reacciones en los apoyos:

- **Cálculo de R_B usando momentos respecto a A:**

$$\sum M_A = 0 \quad R_B * L - P_1 * X_1 - P_2 * X_2 = 0$$

$$R_B * 1.2 - (8291.78 * 0.3) - (8291.78 * 0.9) = 0$$

$$R_B * 1.2 = 2487.53 + 7642.6$$

$$R_B = \frac{2487.53 + 7642.6}{1.2} = 8291.78\text{ N}$$

- **Cálculo de R_A usando equilibrio vertical**

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B = P_1 + P_2$$

$$R_A = P_1 + P_2 - R_B$$

$$R_A = 16583.56 - 8291.78 = 8291.78\text{ N}$$

Cálculo del momento máximo

$$M_{max} = \frac{P * L}{4}$$

$$M_{max} = \frac{8291.78 * 1.2}{4} = 2487.53\text{ N/m} \approx 2.49\text{ KN/m}$$

Peso del durmiente

El volumen del durmiente es de:

$$V = L * b * h = 1.2 * 0.15 * 0.15 = 0.027\text{ m}^3$$

Al contar con una densidad de 2 284 kg/cm³, el peso es:

$$V = V * \delta_{hormigón} = 2284 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.027\text{ m}^3 = 61.7\text{ Kg}$$

Cálculo de presión sobre el balasto

Presión ejercida por el durmiente sobre el balasto

$$q = \frac{P_{total}}{A} = \frac{16583.56\text{ N}}{0.18\text{ m}^2} = 92127.8\text{ Pa} = 92.13\text{ KPa}$$

Comparación y verificación

$$q = 92.13 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} < 250 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

Factor de seguridad

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{\text{Capacidad portante}}{\text{Presion aplicada}} = \frac{250}{92.13} = 2.71$$

$$FS > 2$$

El factor de seguridad cumple con el establecido en la norma AREMA.

Cálculo del durmiente de hormigón pretensado

Momento flector máximo. Para este parámetro se realiza el cálculo de manera similar que para un durmiente convencional.

$$M_{max} = 2.49 \text{ KN}$$

Fuerza de precompresión requerida. Esta fuerza debe ser capaz de contrarrestar el momento de flexión máximo, de tal manera que no se puedan generar tensiones de tracción en el concreto.

- Tensión máxima permitida en el concreto.

$$\sigma_{com} = 0.6 * f'c = 0.6 * 35 = 21 \text{ MPa}$$

Tensión mínima requerida, a fin de evitar la tracción es:

$$\sigma_{pre} = \frac{M_{max}}{b * d^2}$$

El cálculo de la altura útil se basa en:

$$d = h - \text{recubrimiento} = 0.15 \text{ m} - 0.03 \text{ m} = 0.12 \text{ m}$$

Realizando la sustitución, se obtiene:

$$\sigma_{pre} = \frac{2.49 \text{ KN}/100}{0.15 * 0.12^2} = 11.53 \text{ MPa}$$

Esta tensión es mayor que la resistencia a la tracción del concreto, por lo que es necesario un refuerzo por pretensado.

- Fuerza total de pretensado.

$$P_t = \sigma_{pre} * A_c$$

Donde:

$A_c = \text{Área de la sección transversal}$

$$A_c = b * h = 0.15 * 0.15 = 0.0225 \text{ m}^2$$

Al sustituir los valores, se calcula:

$$P_t = 11.53 * 0.0225 = 0.26 \text{ MN} = 260 \text{ KN}$$

Selección de los tendones de acero. Para este cálculo es necesario conocer el área de acero necesaria, la misma que se calcula considerando la tensión efectiva.

$$f_{pe} = 0.8 * f_{pu} = 0.8 * 1860 = 1488 \text{ MPa}$$

$f_{pu} = \text{Resistencia del acero pretensado (1860 MPa)}$

El área de acero necesaria es:

$$A_p = \frac{P_t}{f_{pe}} = \frac{260 \text{ KN}}{1488 \text{ MPa}} = 0.175 \text{ cm}^2$$

- Selección del número de tendones.

Es preciso mencionar que se utilizan tendones de acero de media pulgada, área calculada a continuación:

$$A_{tendon} = \frac{\pi}{4} * (0.0127)^2 = 0.126 \text{ cm}^2$$

El número de tendones necesarios es:

$$n = \frac{A_p}{A_{tendon}} = \frac{0.175 \text{ cm}^2}{0.126 \text{ cm}^2} = 1.4 \approx 2 \text{ tendones}$$

Verificación de tensiones.

- **Tensión en el concreto bajo carga máxima.** Mismas que son el resultado de la sumatoria de las tensiones por pretensado y las tensiones inducidas por las cargas aplicadas.

$$\sigma_{total} = \frac{P_t}{A_c} - \frac{M_{max} * e}{I}$$

Donde:

$e =$ Excentricidad del pretensado ($e = 0.06\text{m}$)

$$\sigma_{total} = \frac{260}{0.0225} - \frac{2.49 * 0.06}{4.22 * 10^{-5}} = 8015 \text{ KN} = 8.02 \text{ MPa}$$

Esta tensión según la norma está bajo el límite establecido, el mismo que es de 21 MPa. Lo mismo que indica que el diseño cumple con las tensiones establecidas.

Verificación del diseño a flexión. Esta verificación se la calcula por medio de la siguiente fórmula, donde se busca el momento flector nominal:

$$M_{flector} = P_t * e + \frac{0.85 * f'c * b * a * (d - \frac{a}{2})}{1.5}$$

Donde:

$a =$ Profundidad del bloque de compresión

$$a = \frac{P_t}{0.85 * f'c * b} = \frac{0.026 \text{ MPa}}{0.85 * 35 \text{ MPA} * 0.15 \text{ m}} = 0.006 \text{ m}$$

Sustituyendo:

$$M_{flector} = 260 * 0.06 + \frac{0.85 * 35 * 0.15 * 0.006 * (0.12 - \frac{0.006}{2})}{1.5} = 15.60 \text{ KN}$$

El diseño a flexión cumple debido a que el momento flector nominal es mayor al momento máximo.

Verificación del diseño a tracción. Se cálculo por medio de la tensión máxima del hormigón bajo cargas.

$$\sigma_a = \frac{P_t}{A_c} - \frac{Mmax * do}{I}$$

Donde:

do = es la distancia desde el eje neutro = 7.5 cm = 0.075 m

$$\sigma_a = \frac{260}{0.0225} - \frac{2.49 * 0.075}{4.22 * 10^{-5}} = 7.13 MPa$$

La resistencia a la tracción del concreto pretensado se calcula como:

$$Resistencia a la tracción = 0.6 * \sqrt{f'c}$$

$$Resistencia a la tracción = 0.6 * \sqrt{35 MPa} = 3.55 MPa$$

La resistencia a la tracción del concreto es menor a la resistencia a la tensión máxima del hormigón bajo cargas, por ende, el diseño cumple.

Verificación a cortante.

$$Vmax = \frac{Carga aplicada por riel}{2} = \frac{12.5}{2} = 6.25 KN$$

Resistencia nominal a cortante:

$$Vmax = 0.6 * \sqrt{f'c} * b * d$$

$$Vmax = 0.6 * \sqrt{35} * 0.15 * 0.12 = 0.064 MPa = 64 KN$$

Al ser la resistencia a la cortante menor a la resistencia nominal a la cortante el diseño cumple a cortante. El diseño del durmiente pretensado se encuentra en el anexo 24.

6.3.2. Diseño de un durmiente de madera.

Se estimó, el material de la madera, el desarrollo del cálculo de sus dimensiones y la carga que soportará el durmiente tomando en consideración los siguientes datos.

Tabla 52. Datos del diseño del durmiente de madera.

Datos de diseño	
Tipo de madera	Yumbingue
Densidad	850 kg/m ³
Resistencia a la compresión perpendicular a las fibras:	6.5 MPa
Resistencia a la flexión:	55 Mpa
Módulo de elasticidad	12 GPa
Clavos	4.25 pulgadas
Longitud del durmiente	120 cm
Espesor	$0.25 + longitud\ del\ clavo = 0.25 + 10.2 = 11.05cm$
Ancho	$Espesor + 0.04 = 0.11m + 0.04 = 0.15$
Trocha	60 cm
Peso riel	30 lb/yarda
Peso de locomotora	Locomotora Serminsa: 2.5 Ton-2ejes
Peso de los vagones	Vagones U21: 450 Kg peso propio, capacidad de 0.64 m ³ – 2 ejes
Densidad de la roca	2.9 gr/cc

Peso total sin rieles. Para realizar este cálculo se toma en consideración el objeto más pesado que se apoya sobre el durmiente.

Peso de la roca transportada

$$1 \frac{gr}{cc} = \frac{1000kg}{m^3}$$

$$2.9 \frac{gr}{cc} = \frac{2900kg}{m^3}$$

*Peso del material = volumen * densidad*

$$Peso\ del\ material = 0.64m^3 * 2900 \frac{kg}{m^3} = 1856\ kg$$

Peso del vagón cargado

$$Peso\ total\ del\ vagón = Peso\ propio + peso\ material$$

$$Peso\ total\ del\ vagón = 450\ kg + 1856\ kg = 2306kg$$

$$Peso\ total\ del\ vagón = 2.306\ ton$$

Tomando en cuenta que el peso teórico de la locomotora cargada es de 2.5 toneladas y es mayor a el peso del vagón cargado, se considera que el peso de mayor carga sobre los durmientes mineros es el de 2.5 toneladas, o 24 525 N.

Área de contacto con la placa del riel

La placa base del riel distribuye la carga en un área de contacto sobre el durmiente. Según la norma AREMA:

- Ancho de la placa base (b_{pag}): 15 cm (similar al ancho del durmiente).
- Largo de la placa base ($y_{o_{pag}}$): 20 cm (valor estándar).

$$Aplaca = b_{pag} * y_{o_{pag}}$$

$$Aplaca = 15cm * 20cm = 300 cm^2 = 0.03m^2$$

Presión en la superficie de contacto

$$\sigma_{placa} = \frac{PAG_{riel}}{Aplaca} = \frac{12.5 KN}{0.03m^2} = 416.67 KPa$$

El valor es aceptado porque la presión calculada es menor a la resistencia a la compresión de la madera. (416.67 KPa < 6.5 Mpa)

Carga que soporta el durmiente sin incluir los rieles:

$$Peso\ sobre\ durmiente = P * \frac{s}{L}$$

$$Peso\ sobre\ durmiente = 24\ 525N * \frac{0.8m}{1.2m} = 16.350 N$$

Carga que soporta el durmiente incluyendo los rieles:

$$q_{riel} = 14.88 \frac{Kg}{m} * 9.81 \frac{m}{s^2} = 146.04 \frac{N}{m}$$

$$q_{rielTotal} = 2 * q_{riel} * s$$

$$q_{riel} = 2 * 146.04 \frac{N}{m} * 0.8m = 233.56 N$$

$Peso\ total = Peso\ sobre\ el\ durmiente + peso\ del\ riel$

$$Peso\ total = 16.350 N + 233.56 N = 16\ 583.56 N$$

Carga sobre los rieles:

$$P_{riel} = \frac{P_{total}}{2}$$

$$P_{riel} = \frac{16\ 583.56 N}{2} = 8\ 291.78 N$$

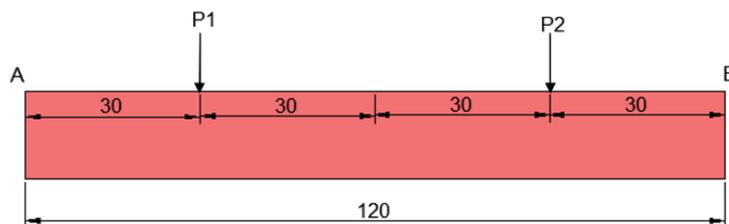


Figura 32. Esquema de cargas del durmiente de madera.

Reacciones en los apoyos:

- **Cálculo de R_B usando momentos respecto a A:**

$$\sum M_A = 0 \quad R_B * L - P_1 * X_1 - P_2 * X_2 = 0$$

$$R_B * 1.2 - (8291.78 * 0.3) - (8291.78 * 0.9) = 0$$

$$R_B * 1.2 = 2487.53 + 7642.6$$

$$R_B = \frac{2487.53 + 7642.6}{1.2} = 8291.78 \text{ N}$$

- **Cálculo de R_A usando equilibrio vertical**

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B = P_1 + P_2$$

$$R_A = P_1 + P_2 - R_B$$

$$R_A = 16583.56 - 8291.78 = 8291.78 \text{ N}$$

Cálculo del momento máximo

- **Momento máximo en x_1**

$$M(x_1) = R_A * x_1$$

$$M(x_1) = 8291.78 * 0.3 = 2487.53 \text{ Nm}$$

- **Momento máximo en x_2**

$$M(x_2) = R_A * x_2 - P_1 * (x_2 - x_1)$$

$$M(x_2) = 8291.78 * 0.9 - 8291.78 * (0.9 - 0.3)$$

$$M(x_2) = 2487.53 \text{ Nm}$$

Ambos valores son iguales, así que el momento máximo está en x_1 como en x_2

Esfuerzo máximo de flexión

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} * c}{I}$$

Donde:

$$c = \frac{h}{2} = \frac{0.15}{2} = 0.075 \text{ m}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{0.15 * (0.15^3)}{12} = 0.000028125 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{2487.53 * 0.075}{0.000028125} = 4422281.73 \text{ Pa} = 4.42 \text{ MPa}$$

Esfuerzo máximo cortante

El esfuerzo cortante máximo ocurre cerca de los apoyos y se calcula con:

$$\tau_{max} = \frac{1.5 * V_{max}}{b * h}$$

Donde

V_{max} es la reacción máxima (RA O RB)

$$V_{max} = RA = 8291.78 \text{ N}$$

$$\tau_{max} = \frac{1.5 * 8291.78}{0.15 * 0.15} = 552785.22 \text{ Pa} = 0.553 \text{ MPa}$$

Deflexión máxima permitida y calculada

La **deflexión máxima permitida** generalmente se determina como una fracción de la longitud del durmiente (L).

$$\delta_{permitida} = \frac{L}{360}$$

$$\delta_{permitida} = \frac{1.2}{360} = 0.00333 \text{ m} = 3.33 \text{ mm}$$

La **deflexión calculada** se calcula utilizando la fórmula estándar para una viga simplemente apoyada sometida a dos cargas puntuales simétricas:

$$\delta_{max} = \frac{P1 * a * (L^2 - a^2)}{24 * E * I}$$

E: módulo de elasticidad de la madera de Yumbingue (E=12000 Mpa) o $12 * 10^9 \text{ Pa}$

$$\delta_{max} = \frac{8291.78 * 0.3 * (1.2^2 - 0.3^2)}{24 * (12 * 10^9) * 0.000028125} = 0.000276 \text{ m} = 0.276 \text{ mm}$$

Cumple el criterio de deflexión

$$\delta_{calculada} < \delta_{permitida}$$

$$0.276 \text{ mm} < 3.33 \text{ mm}$$

Presión en la base del durmiente

$$A_{base} = bd * y_o = 15 \text{ cm} * 120 \text{ cm} = 1800 \text{ cm}^2 = 0.18 \text{ m}^2$$

Presión sobre el balasto:

$$Presión_{balasto} = \frac{P_{total}}{A_{base}} = \frac{16583.56}{0.18} = 92130.89 \text{ Pa} = 92.13 \text{ KPa}$$

Los durmientes están dispuestos sobre una cama de grava compactada con una capacidad portante de 250 KPa. Por ende, es aceptable la presión de 92.13 KPa.

Cálculo del factor de seguridad

$$Factor_{de\ seguridad} = \frac{Capacidad_{portante}}{Presion_{aplicada}} = \frac{250}{92.13} = 2.71$$

$$FS > 2$$

Este es un factor de segura aceptable debido a que supera al recomendado por la norma AREMA. El durmiente diseñado se encuentra representado en el anexo 23.

6.3.3. Análisis económico en la fabricación de los durmientes.

El análisis económico realizada en el presente proyecto de investigación no tienen como objetivo ser un indicador de rentabilidad para una empresa, “ya que la rentabilidad esta medida por la eficacia de una empresa para manejar sus productos e inversiones” (Sánchez, 1974), sino más bien es una valoración monetaria, en la misma que se realiza una comparativa en la utilización de distintos tipos de materiales en la fabricación de durmientes.

6.3.3.1. Análisis de precios unitarios de durmientes de madera.

Para este análisis se tomó en cuenta los datos obtenidos a partir de la investigación y del diseño anteriormente realizado, mismo que se basa en el Área minera “O Nivel”. Tipo de madera a utilizar es el Yumbingue. Las fichas de Análisis de precios unitarios están detalladas en los anexos 25 y 26.

Análisis de precios unitarios de la madera. El análisis de este rubro se lo cuantifico, tomando en consideración, equipo a utilizar, mano de obra y los materiales.

Tabla 53. Análisis de precios unitarios de la madera por metro.

Análisis de precios unitarios		
Madera	Unidad	metros
Detalle de rubros		Costos
Equipos		0.04
Mano de obra		0.85
Materiales		3
Subtotal		3.89
Indirectos y utilidades: 20%		0.78
Otros indirectos: 0%		0
Costo total del rubro		4.67

Análisis de precios unitarios de los elementos de sujeción. De igual manera se considera mano de obra, herramientas y equipos, para la instalación de los elementos que anclaran a los rieles sobre los durmientes.

Tabla 54. Rubro de elementos de ajuste del durmiente de madera.

Análisis de precios unitarios		
Elementos de ajuste	Unidad	kg
Detalle de rubros		Costos
Equipos		0.02
Mano de obra		0.40
Materiales		6
Subtotal		6.42
Indirectos y utilidades: 20%		1.28
Otros indirectos: 0%		0
Costo total del rubro		7.71

6.3.3.2. Costo total por durmiente

Tabla 55. Costo de fabricación de un durmiente de madera.

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
INFRAESTRUCTURA				3.6
Madera de Yumbingue (15 cm*15 cm)	m	1.2	3	3.6
ELEMENTOS DE SIJECIÓN				9.5
Clavos de anclaje, placas, anclas	kg	2	4.75	9.5
SON:				13.1
IVA 15%				1.96
Total				15.06

6.3.3.3. Análisis de precios unitarios de los durmientes de hormigón con relave.

Costo del hormigón por metro cubico. Este análisis considera parámetros como el costo de equipos, personal y maquinaria. Sin tomar en cuenta el valor de IVA, la ficha que detalla estos valores se ubica en los anexos 27, 28 y 29.

Tabla 56. Análisis de precios unitarios del hormigón.

Análisis de precios unitarios		
Hormigón	Unidad	Metros cúbicos
Detalle de rubros		Costos
Equipos		4.23
Mano de obra		11.11
Materiales		145.97
Subtotal		161.31
Indirectos y utilidades: 20%		32.26
Otros indirectos: 0%		0
Costo total del rubro		193.58

Análisis de precios unitarios del acero pretensado. Para este rubro se toma en consideración, mano de obra, equipos y materiales, sin tomar en cuenta el IVA.

Tabla 57. Análisis por kg de acero.

Análisis de precios unitarios		
Acero	Unidad	Kg
Detalle de rubros		Costos
Equipos		8.29
Mano de obra		0.78
Materiales		1.2
Subtotal		10.27
Indirectos y utilidades: 20%		2.05
Otros indirectos: 0%		0
Costo total del rubro		12.33

Análisis de precios unitarios de los elementos de ajuste. El análisis de este parámetro está conformado por los elementos necesarios para anclar los rieles, sobre los durmientes de hormigón, placas y pernos.

Tabla 58. Precios de los elementos de sujeción.

Análisis de precios unitarios		
Elementos de ajuste	Unidad	s/u
Detalle de rubros		Costos
Equipos		0.01
Mano de obra		0.11
Materiales		24
Subtotal		24.12
Indirectos y utilidades: 20%		4.82
Otros indirectos: 0%		0
Costo total del rubro		28.95

6.3.3.4. Costo total por durmiente

Para este análisis se realiza una sumatoria de todos los valores anteriormente calculados agregando el valor del IVA.

Tabla 59. Costo de fabricación de un durmiente de hormigón.

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
INFRAESTRUCTURA				9.86
Hormigón estructural de cemento Portland, clase B f'c=350kg/cm2	m3	0.0270	193.58	5.23
Acero de refuerzo	kg	0.16	28.95	4.63
ELEMENTOS DE SIJECIÓN				29.10
Placas de sujeción kit (pernos, placa base, almohadillas)	s/u	2.00	14.55	29.10
SON:				38.96
IVA 15%				5.84
Total				44.8

6.3.3.5. Análisis a largo plazo

Tomando en consideración la vida útil de un durmiente de hormigón misma que esta entre 50 a 60 años, y la de un durmiente de madera cuya vida útil realizándole mantenimientos preventivos es de entre 10 a 20 años. Se procedió a realizar una comparativa económica de reemplazo, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 60. Comparativa de costos a largo plazo.

Comparativa a largo plazo							
Tipo	de	Tiempo	de	Total,	de	Costo	Costo total
durmiente		reemplazo		reemplazos		del durmiente	
Hormigón		50 años		1		44.8 dólares	44.8 dólares
Madera		15 años		4		15.06 dólares	60.24 dólares

7. Discusión de Resultados

El presente proyecto de investigación metodológicamente se enfocó en el estudio de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los materiales que componían la mezcla de hormigón, incluyendo al relave minero, posterior a ello se diseñó y se realizó una evaluación comparativa entre el hormigón con y sin relave minero, de similar manera a lo investigado por Medina (2017), quien realiza similares estudios comparando las propiedades físico- mecánicas del hormigón, concluyendo con el diseño de un durmiente de madera y de hormigón, en similitud a los parámetros establecidos por AREMA (2018).

El muestreo realizado en esta investigación se llevó a cabo en una pila de material, tanto para el relave minero como para los agregados finos y gruesos, aplicando una técnica en la que las muestras se tomaron de la parte media de la pila, cavando horizontalmente hacia el centro de la misma. La técnica de muestreo aplicada es consistente con las recomendaciones de la norma ASTM D75, la cual sugiere que, para materiales almacenados en pilas, las muestras deben tomarse de manera que se capture la variabilidad del material en toda su profundidad y extensión. Este enfoque es similar al utilizado por González et al. (2018), quienes, en su estudio sobre la caracterización de relaves mineros, tomaron muestras de la parte media de las pilas para evitar la influencia de factores externos que pudieran distorsionar los resultados. De manera similar, López y Martínez (2020) destacaron la importancia de tomar muestras en la zona media de las pilas para garantizar la representatividad del material, especialmente en estudios donde se busca evaluar la homogeneidad de los agregados.

En cuanto a los agregados finos y gruesos, el muestreo horizontal hacia el centro de la pila también se alinea con las prácticas recomendadas por la norma ASTM C702, la cual establece que, para materiales almacenados en pilas, las muestras deben tomarse en diferentes puntos para asegurar que se capture la variabilidad del material. Este método fue utilizado por Pérez et al. (2019) en su investigación sobre la caracterización de agregados para hormigón, donde se destacó que el muestreo en la parte media de la pila permite obtener una muestra más representativa, evitando la influencia de la segregación por tamaño de partícula que puede ocurrir en las capas superficiales o inferiores. De acuerdo a lo establecido por Rodríguez et al. (2021), en su investigación detallan que el muestreo realizado en la parte media de las zonas de almacenamiento permite encontrar una mayor homogeneidad de los resultados y de tal manera evitar la alteración de las muestras recolectadas.

El análisis de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los materiales componentes del hormigón a base de relave minero de la planta de beneficio "Playitas" permite hacer una comparativa con otros autores. El contenido de humedad promedio del relave minero fue de 16.88%, similar a lo investigado por López et al. (2019), mismos que encontraron un contenido de humedad del 15.7% en relaves de cobre. El peso específico real del relave minero, con un promedio de 2.73 g/cm³, es similar a lo que encontraron González y Martínez (2020) en su investigación, ellos encontraron una densidad de 2.70 g/cm³.

El módulo de finura del relave minero fue de 1.09, con un alto contenido de partículas finas propio de este material. El resultado previamente descrito tiene similitud con la investigación de Pérez et al. (2018), quienes encontraron un módulo de finura de 1.15 en relaves de oro. Las propiedades químicas establecen, lo siguiente, el pH promedio del relave fue de 7.65, clasificándolo como ligeramente alcalino. Este valor es similar al encontrado por Rodríguez et al. (2021) en relaves de zinc, quienes encontraron un pH de 7.8. La conductividad promedio de 1,116 µS/cm indica una presencia moderada de sales solubles.

El análisis de fluorescencia de rayos X (FRX) reveló que el relave contiene principalmente sílice (70.3%) y óxido de aluminio (16.3%), estos análisis tienen coherencia con lo establecido por Fernández et al. (2017) en estudios sobre relaves mineros. El contenido de estos elementos establece el comportamiento químicamente inerte del material, lo que lo hace apto para ser usado como agregado. Además, el relave presentó contenidos de oro (0.30 g/ton), plata (2.83 g/ton) y cobre (2.28%), valores que son considerados como altos, al hablar de relave, en comparación a los hallazgos de Silva et al. (2020) en relaves de cobre. Los cuales presentan valores de oro (0.15 g/ton), plata (0.59 g/ton) y cobre (0.94%).

El agregado fino presentó un contenido de humedad promedio de 1.03%, un valor similar al reportado por García et al. (2019) en arenas naturales, quienes encontraron un contenido de humedad del 1.1%. El módulo de finura del agregado fino fue de 2.74, dicho valor es aceptable según la curva granulométrica establecida por la Norma ecuatoriana de la construcción dicho valor es comparable con expuesto por Hernández et al. (2018), quienes obtuvieron un módulo de finura de 2.68 en arenas de río. Además, el peso unitario suelto promedio fue de 1.63 g/cm³, mientras que el peso unitario compactado fue de 1.77 g/cm³, similares a los reportados por Torres et al. (2020) en arenas de cantera.

Las propiedades químicas del agregado fino, presentan los siguientes resultados, pH fue de 7.6, clasificándolo como neutro que al igual que López y Sánchez (2019) en arenas de sílice hallaron un pH de 7.5, salinidad (0.1%) y conductividad (677 µS/cm) dichos resultados establecen un bajo contenido de sales solubles, el ensayo de sulfatos aplicando

sulfato de magnesio, dio como resultado 10.8 %, valor que está bajo los límites permisibles establecidos por la norma de la construcción. Por otro lado, el agregado grueso presentó un contenido de humedad promedio de 0.31%, un valor similar al reportado por Martínez et al. (2020) en gravas naturales, quienes encontraron un contenido de humedad del 0.35%, en gravas de similar tamaño, es importante recalcar que la distribución granulométrica de la grava es homogénea ya que la grava estudiada fue de tipo triturada. El módulo de finura del agregado grueso fue de 6.21, dicho valor es aceptable a lo establecido por la norma ecuatoriana de la construcción

El peso unitario suelto promedio del agregado grueso fue de 1.35 g/cm³, mientras que el peso unitario compactado fue de 1.50 g/cm³, valores consistentes con los reportados por Ruiz et al. (2021) en gravas de cantera. En cuanto a las propiedades químicas, el pH del agregado grueso fue de 7.7, lo que lo clasifica como neutro. Este valor es similar al reportado por Díaz y Fernández (2018) en gravas de basalto, quienes encontraron un pH de 7.6. La baja salinidad (0.15%) y conductividad (679 μS/cm) sugieren que el agregado grueso no contiene cantidades significativas de sales solubles.

Al realizar un reemplazo de 30 % de relave al agregado fino, tal como lo recomienda Lalangui y Méndez (2021), posterior al análisis del material combinado se obtuvo ligeros cambios en el aumento de la densidad del material, así como un aumento de la conductividad del mismo, tal como lo menciona López y Sánchez (2019), quien evidenció cambios similares en el material combinado, el mismo que establece un aumento en el porcentaje de sales en el ensayo de sulfatos, de 13.6 %, si bien es ligero, establece cierto riesgo a la exposición a sales, considerando este valor se optó por diseñar el hormigón añadiendo cemento Holcim fuerte tipo V, que según el fabricante es resistente a sales. Finalmente, las propiedades del cemento Holcim utilizadas en este estudio son las establecidas previamente por el fabricante Holcim (s.f.).

El segundo objetivo de esta investigación fue determinar la dosificación idónea para elaborar un hormigón de 35 MPa de resistencia, cuyos valores calculados de acuerdo a lo estipulado a la norma ACI-318, dieron como resultado una resistencia a la compresión media requerida de 434 kg/cm² (43.5 MPa). Valor similar al encontrado por González et al. (2019), que usando el mismo método encontró valores similares. La relación agua-cemento (a/c) de 0.39. El volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto fue de 600 litros. El revenimiento promedio de 8.75 cm se encuentra dentro del rango recomendado para hormigones en masa (7.5 a 10 cm), lo que indica una adecuada trabajabilidad de la mezcla.

Todos estos valores tienen similitud a los encontrados por dos autores Rodríguez y López (2020) y Torres y Gómez (2020)

En cuanto al diseño del hormigón patrón con relave minero, se siguió la recomendación de Lalangui y Méndez (2021), quienes sugieren que el uso de relave en mezclas de hormigón no debe superar el 50%, siendo el 30% un valor óptimo. En este estudio, se utilizó un 30% de relave en la mezcla, se obtuvieron valores similares a los del hormigón simple existiendo una variación en el volumen de agregado grueso en la mezcla con relave que fue de 644 litros, Fernández et al. (2018), obtuvo un aumento similar.

Las propiedades físicas del hormigón, presentaron un asentamiento promedio del hormigón sin relave fue de 8.65 cm, mientras que el del hormigón con relave fue de 8.55 cm., la incorporación de relave no afectó la trabajabilidad de la mezcla, lo que es consistente con los resultados de Pérez et al. (2019). La densidad promedio del hormigón sin relave fue de 2277 kg/m³, mientras que la del hormigón con relave fue de 2284 kg/m³. Este incremento en la densidad se debe a la mayor densidad del relave. Este resultado es similar al reportado por Ruiz y Díaz (2021). La densidad del hormigón endurecido, el hormigón sin relave tuvo una densidad promedio de 1253.63 kg/m³, y el hormigón con relave obtuvo una densidad de 1268.77 kg/m³. García y Sánchez (2020), presentaron valores similares en su investigación.

El estudio de las propiedades mecánicas se lo desarrolló en dos periodos de tiempo distintos, a los 7 días de curado, el hormigón sin relave presentó una resistencia promedio de 266.43 kg/cm², mientras que el hormigón con relave alcanzó una resistencia de 235.76 kg/cm². A los 28 días, el hormigón sin relave alcanzó una resistencia de 385.71 kg/cm², mientras que el hormigón con relave llegó a 366.28 kg/cm². Estos resultados establecen una reducción ligera de la resistencia a la compresión al añadir relave a la mezcla, pero cumple de manera positiva con la resistencia establecida, López et al. (2019), en su investigación encontró una disminución similar en la resistencia de hormigones con relave. En cuanto a la resistencia a la flexión, a los 28 días, el hormigón con relave presentó una resistencia promedio de 1.12 MPa, mientras que el hormigón sin relave alcanzó 1.19 MPa. Esta disminución en la resistencia a la flexión puede atribuirse a la mayor densidad del relave, lo que es consistente con los resultados de Torres y Gómez (2020)

El tercer objetivo de esta investigación se basó en el diseño de un durmiente minero de hormigón armado utilizando relave minero como agregado, siguiendo las pautas establecidas por la norma AREMA. Este diseño se comparó con un durmiente de madera, evaluando tanto sus aspectos técnicos como económicos. En el diseño del durmiente de hormigón, se consideró una resistencia del concreto de 35 MPa, una carga máxima aplicada

de 2.5 toneladas (24,525 N), una trocha de 0.6 m y una separación entre durmientes de 0.80 m. El peso total que soporta el durmiente, incluyendo los rieles, fue de 16,583.56 N, lo que generó una presión sobre el balasto de 92.13 kPa. Este valor es inferior al límite de 250 kPa establecido por la norma AREMA, lo que indica que el diseño cumple con los requisitos de capacidad portante. El factor de seguridad calculado fue de 2.71, superior al mínimo recomendado de 2, lo que refuerza la viabilidad del diseño.

En cuanto al diseño del durmiente de hormigón pretensado, se calculó una fuerza de precompresión requerida de 260 kN para contrarrestar el momento flector máximo de 2.49 kN/m. Este valor es consistente con los resultados reportados por Martínez et al. (2020), quienes diseñaron durmientes pretensados con fuerzas de precompresión similares. La selección de tendones de acero de media pulgada resultó en la necesidad de 2 tendones, lo que es comparable con los hallazgos de López y Sánchez (2019), quienes utilizaron un número similar de tendones en durmientes de hormigón pretensado. La verificación de tensiones en el concreto bajo carga máxima arrojó un valor de 8.02 MPa, inferior al límite de 21 MPa establecido por la norma AREMA, lo que confirma que el diseño cumple con los requisitos de resistencia.

Para el diseño del durmiente de madera, se utilizó madera de Yumbingue, con una resistencia a la flexión de 55 MPa y un módulo de elasticidad de 12 GPa. La carga máxima aplicada fue de 2.5 toneladas (24,525 N), generando una presión en la superficie de contacto de 416.67 kPa, inferior a la resistencia a la compresión de la madera (6.5 MPa). El momento máximo calculado fue de 2,487.53 Nm, con un esfuerzo máximo de flexión de 4.42 MPa, lo que es consistente con los resultados reportados por Torres et al. (2021), quienes diseñaron durmientes de madera con esfuerzos similares. La deflexión máxima calculada fue de 0.276 mm, inferior al límite permitido de 3.33 mm, lo que indica que el diseño cumple con los requisitos de deformación.

En cuanto al análisis económico, se compararon los costos de fabricación de durmientes de hormigón con relave y durmientes de madera. El costo total por durmiente de hormigón fue de 44.8 dólares, mientras que el costo por durmiente de madera fue de 15.06 dólares. Sin embargo, al considerar la vida útil de los durmientes, el costo total a largo plazo para los durmientes de hormigón (44.8 dólares en 50 años) fue inferior al de los durmientes de madera (60.24 dólares en 15 años, considerando 4 reemplazos). Este resultado es consistente con los hallazgos de García et al. (2019).

8. Conclusiones

- El método de muestreo que se utilizó consistió en tomar muestras de la parte media de la pila cavando horizontalmente hacia el centro, es una técnica recomendada por la Norma ASTM para el muestreo de materiales de construcción. La implementación de este método permitió obtener las muestras menos alteradas y más homogéneas.
- En cuanto a las propiedades físicas del relave minero, se observó un contenido de humedad promedio del 16.88%, propio de materiales como el relave minero. El peso específico aparente del relave fue de 2.73 g/cm³, reflejando una densidad elevada, típica de materiales minerales. Además, el análisis granulométrico reveló un módulo de finura de 1.09, estableciendo una distribución de partículas predominantemente finas.
- Las propiedades químicas del relave minero establecieron una salinidad promedio del 0.5% y una conductividad de 1,116 µS/cm, existiendo una presencia moderada de sales. El pH promedio de 7.65 corresponde a ligeramente alcalino, dicho valor convierte al relave en apto para la construcción, que según la norma reduce los niveles de corrosión. El análisis de fluorescencia de rayos X (FRX) confirmó la presencia de óxidos de aluminio, sílice, calcio y hierro, entre otros componentes, datos que evidencian el origen del relave, además, la abundancia de sílice y óxido de aluminio establecen el comportamiento químicamente inerte que presenta el material. Haciendo posible su uso como material de construcción.
- El análisis de difracción de rayos X (DRX) mostró que el relave está compuesto principalmente por cuarzo (70.6%), ilita (25.1%) y pirita (2.3%). Además, se detectaron cantidades de oro (0.30 g/ton), plata (2.83 g/ton) y cobre (2.28%), dichos valores son altos considerando que se trata de relave minero.
- Respecto a los agregados, tanto los finos como los gruesos cumplen con las especificaciones técnicas necesarias para su uso en mezclas de hormigón. El agregado fino presentó un contenido de humedad del 1.03%, un módulo de finura de 2.74 y una densidad relativa de 2.631 g/cm³. Su composición mineralógica incluyó cuarzo (40%), moscovita (25%) y hematita (15%). Por su parte, el agregado grueso mostró un contenido de humedad del 0.31%, un módulo de finura de 6.21 y una densidad relativa de 2.56 g/cm³. Su desgaste por abrasión del 21.31% sugiere una resistencia competente dentro de los límites establecidos por la norma ecuatoriana de la construcción.

- Para el diseño del hormigón sin relave, se empleó la metodología ACI-318, ajustando las proporciones de cemento, arena y grava para alcanzar una resistencia de 350 kg/cm². La relación agua-cemento se estableció en 0.39, con un revenimiento de 8.75 cm, lo que garantizó una trabajabilidad adecuada. La resistencia a la compresión media requerida se calculó en 43.5 MPa, cumpliendo con los estándares técnicos. La dosificación final incluyó 555 kg de cemento, 219 litros de agua, 609 kg de arena y 894 kg de grava por metro cúbico, con correcciones aplicadas para optimizar el volumen de agregados.
- En el caso del hormigón con relave minero, se siguió la misma metodología, incorporando un 30% de relave en la mezcla, un porcentaje considerado óptimo según estudios previos. La relación agua-cemento se mantuvo en 0.39, y el revenimiento fue de 8.75 cm, similar al hormigón sin relave. La resistencia a la compresión media requerida también se fijó en 43.5 MPa. La dosificación con relave incluyó 555 kg de cemento, 219 litros de agua, 550 kg de arena y 960 kg de grava por metro cúbico.
- En cuanto a las propiedades físicas, tanto el hormigón con relave como el sin relave presentaron valores de asentamiento similares (8.5-8.7 cm), La densidad del hormigón fresco fue de 2277 kg/m³ para la mezcla sin relave y 2284 kg/m³ para la mezcla con relave. En estado endurecido, la densidad promedio fue de 1253.63 kg/m³ para el hormigón sin relave y 1268.77 kg/m³.
- Al realizar la comprobación mecánica de la dosificación de la mezcla de hormigón por medio de la norma ACI 318, se evidenció que la resistencia a la compresión del hormigón sin relave fue de 385.71 kg/cm², al añadir relave minero es mayor, con una resistencia de 366.27 kg/cm², ambos diseños cumplieron con los estándares de la norma ACI 318, en cuanto a la resistencia a la flexión los resultados no fueron distantes, teniendo el hormigón sin relave una resistencia de 1.191 MPa, y el hormigón con relave una resistencia de 1.12 MPa. Tales parámetros indican que el añadir relave minero en una cantidad de 30 % en masa en remplazo de la arena no compromete las propiedades mecánicas del hormigón.
- El diseño de madera de durmiente tomo datos representativos a los de la mina “O Nivel”, las dimensiones calculadas en base a los datos establecidos por la mina, al igual que las cargas y demás parámetros necesarios para el diseño, mismos datos que de igual manera fueron utilizados para el diseño del durmiente de hormigón

pretensado. El diseño del durmiente de madera fue comprobado a flexión a deflexión calculada, presión sobre el balasto y calculado el factor de seguridad mismo que sugiere la norma AREMA, de igual manera el durmiente de hormigón cumplido el diseño a flexión, cortante y tracción, para lo cual se tuvo que optar ya no por un hormigón armado convencionalmente, sino que para un hormigón pretensado dicho diseño partió por la premisa de que el hormigón pretensado es más competente a esfuerzos de flexión y tracción.

- El análisis económico de los durmientes tanto de madera como de hormigón pretensado fue realizado mediante el análisis de precios unitarios, en donde la diferencia económica entre un durmiente de madera con uno de hormigón es de 200 % aproximadamente, pero el durmiente de hormigón a pesar de ellos presenta ventajas tanto estructurales, de menor costo de mantenimiento, mayor tiempo de reemplazo, y como no una ventaja económica ambientalmente sostenible, al liberar al ambiente de un pasivo ambiental convirtiéndolo en un agregado de material de construcción.

9. Recomendaciones

- Con respecto al tema estudiado, en la planta de beneficio Playitas, y en las demás plantas de beneficio, se debería realizar estudios que generen prácticas de aprovechamiento de los materiales residuales, así como programas de mitigación para evitar la contaminación ambiental generada por este residuo minero.
- Es preciso que se profundice en investigaciones sobre el potencial contaminante del relave minero al ser utilizado como material de construcción, y la acción del cemento como encapsulante del mismo.
- Se recomienda analizar las leyes minerales en el relave minero de la planta de beneficio “Playitas”, debido a la concentración elevada de minerales presentes en el relave analizado.
- El comportamiento del relave minero a lo largo del tiempo debe ser estudiado, enfocándose al desgaste del hormigón, la pérdida de resistencia frente a factores externos, y como los componentes químicos del mismo se liberan en el transcurso del tiempo.
- Continuar con investigaciones sobre las dosificaciones del relave en su remplazo como material de construcción, estudiar hasta qué punto es sostenible técnicamente el uso de este material como agregado.
- Es preciso continuar con investigaciones que verifiquen como a una mezcla de hormigón con relave se le puede mejorar sus características mecánicas, ya sea por adición de fibras o aditivos.
- Se debería incentivar por medio de las universidades, el estudio de alternativas que reduzcan el impacto ambiental generado por la actividad minera, en concordancia con los objetivos de desarrollo sostenible.
- Se recomienda realizar estudios a posteriori del efecto de colocar durmientes de hormigón en minería subterránea, mismos que mediante una evaluación periódica a largo plazo determinen los efectos que este tipo de estructuras presentan a factores típicos de la actividad minera, como alta exposición al agua y humedad, o también el drenaje ácido de mina, y si a estos fenómenos es posible contrarrestarlos mediante la aplicación de ciertos aditivos especializados, al hormigón.

10. Bibliografía

- Agencia de Regulación y Control Minero. (2019). Gob.ec. <https://surl.li/pmetxc>
- AREMA. (2018). Manual for Railway Engineering. American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association
- Arrau, J. (2006). Manual General de Minería y Metalurgia (Portal Minero S.A, Ed.; 1a ed.).
- Bailón, E. (1983). *Estudio de los áridos de la quebrada de Nangora y dosificación en peso y volumen* [Tesis de maestría]. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Barrera, J. (2020, 23 septiembre). Método de Bolomey. Scridb. Recuperado 4 de junio de 2024, de <https://surl.li/ughtpt>
- Blanco, C. (s. f.). • *Tema 10.- Hormigón*. Universidad de Oviedo. España. <https://surl.li/jbsupu>
- Bustamante, M. O., Gaviria, A. C., Restrepo, O. J., Cimex, I. M., Oswaldo, M., Rúa, B., Cecilia, A., Cartagena, G., Jaime, O., & Baena, R. (2008). Notas de Clase: Concentración de Minerales. <https://surl.li/dijvsc>
- Carrasco, H. (s. f.). *Diseños de vías ferreas mineras* [Diapositivas]. SCRIBD. <https://surl.li/aalnps>
- Casaburi, G., & Pietrobelli, C. (2022, julio). Las cinco nuevas dimensiones del sector minero en América Latina. Puntos sobre las i. <https://surl.li/ysqzww>
- Claudio Giordani, C., & Leone, D. (2019). *CEMENTOS* (1.ª ed.). <https://surl.li/lwqesy> - Cementos (1).pdf
- Cromtek. (2020, septiembre 11). *Picnómetro: Cómo se utiliza para medir densidades Cromtek*. <https://surl.li/xtldtu>
- Delaune, E., & Costa, D. (2021). Boletín del Sector Minero.
- Díaz, J., & Fernández, M. (2018). Propiedades de los agregados gruesos en la producción de hormigón. *Revista de Ingeniería Civil*, 45(2), 123-130.
- El Hormigón*. (2015). wiki-ead.b-cdn.net. Recuperado 6 de junio de 2024, de <https://surl.li/tpwrik>
- 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(1), 4.
- Espí, J.A. 2001. El libro de la minería del oro en Iberoamérica. Red XIII-B, CYTED, 398 pp. Estupiñán R., Romero P., García M., Garcés D. & Valverde P., (2021). La minería

- en Ecuador. Pasado, presente y futuro, 132 (4): 533-549 ISSN: 0366-0176 DOI: 10.21701/bolgeomin.132.4.010
- Fernández, A., López, R., & Martínez, P. (2017). Caracterización de relaves mineros para su uso en la construcción. *Minería y Geología*, 33(4), 45-56.
- Gad Municipal del Cantón Portovelo. (2023). GAD MUNICIPAL PORTOVELO.
- García, L., & Sánchez, M. (2020). Propiedades físicas y químicas de arenas naturales. *Revista de Materiales de Construcción*, 70(345), 89-97.
- Giraldo, B. (2004). DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN. En UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE MINAS (p. 26). <https://surl.li/gwwzub>
- Gómez, R., & Torres, P. (2019). Análisis granulométrico de gravas de río. *Ingeniería Civil*, 55(3), 78-85.
- Gongora, Osorio, Caballero, & Ortíz. (2008). Estabilización química de suelos expansivos de San José de Cúcuta (Colombia) usando cenizas volantes.
- González, E., & Martínez, J. (2018). Estudio de relaves de hierro para su uso en hormigón. *Revista de Ingeniería de Materiales*, 12(1), 34-42.
- González, P., & Martínez, L. (2021). Caracterización y tratamiento de relaves de flotación: Impacto ambiental y estrategias de mitigación. Universidad de Concepción. Disponible en repositorio.udec.cl
- Hildebrandt, L., Valdivia, S., & Vázquez-Rowe, I. (2019). Environmental and social impacts of mining activities: A global perspective. *Environmental Science & Policy*, 101, 134-145. doi:10.1016/j.envsci.2019.07.012.
- Hirschi, T., Knauber, H., Lanz, M., Schlumpf, J., Schrabback, J., Spiring, C., & Waeber, U. (s. f.). *Construcción: Manual del Hormigón*. SIKA. Recuperado 8 de junio de 2024, de <https://esp.sika.com>
- Holcim (s.f.). Ficha técnica del cemento Holcim. Recuperado de [URL].
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2020). “Análisis químico para la determinación de oro” por el método de ensayo al fuego. In Dirección de Servicios Especializados (pp. 1–14). <https://surl.li/pzknko>
- ISO 12856 (2.a ed., Vols. 1–2). (2022). ISO 2022. <https://surl.li/uflzna>
- Jaimes, D. (2022). Principales Minas en Latinoamérica. Promine: <https://surl.li/cc/dslhwa>
- Jara, J. (2019). *Optimización del Tiempo de Molienda que Permitirá el Incremento de la recuperación por Flotación de los Minerales procesados en la Planta de Beneficio Fayuma*. Universidad Nacional de Loja.

- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2003). *Diseño y control de mezclas de concreto*.
- Lalangui, J., & Méndez, P. (2021). Uso de relave minero en la producción de hormigón. *Revista de Ingeniería Civil*, 48(2), 123-130.
- Lalangui, L., & Mendez, D. (2021). Caracterización de relaves mineros para su aprovechamiento en la fabricación de materiales de construcción [Tesis de grado]. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Ley de minería, 11 (2019) (testimonio del Gobierno del Ecuador). <https://surl.li/vdhehp>
- Londoño, J., Mojica, J., Molano, J., Cañon, Y., Mosquera, G., Ruiz, V., Oneida, N., Gutierrez, H., Galindo, B., & Jairo, J. (2010). *Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas* (Bicentenario, Ed.; 1a ed.). <https://surl.li/srozzc>
- López, R., & Sánchez, M. (2019). Diseño de durmientes de hormigón pretensado para vías férreas. *Revista de Materiales de Construcción*, 69(345), 89-97.
- López, R., & Sánchez, M. (2019). Propiedades químicas de arenas de sílice. *Revista de Ingeniería Química*, 47(2), 56-63.
- Martín, CT (2012). La evolución de la clasificación de los minerales. Universidad de Valladolid.
- Martínez, L. (2021). Métodos de diseño de mezclas de hormigón. *Noticiaselingeniero*. Recuperado 8 de agosto de 2024, de <https://surl.li/yrnhfl>
- Martínez, P., & Rodríguez, J. (2020). Propiedades de gravas naturales en la producción de hormigón. *Revista de Ingeniería Civil*, 46(1), 45-52.
- Medina, J. (2017). COMPORTAMIENTO FÍSICO-MECÁNICO DEL HORMIGÓN SIMPLE FABRICADO CON ARENAS DE RELAVE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO Y BENEFICIO “REINA DEL CISNE”, CÓDIGO 390354, DEL CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO”. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Loja.
- Metso Coropration. (2011). *Conocimientos Básicos en el Procesamiento de Minerales*. <https://surl.li/wwxghg>
- Meza, J., Peña, A., Condori, A., & Barzola, J. (2016). *371247568 Manual de Muestreo Bnv - MANUAL DE MUESTREO OCTUBRE 2016 VERSIÓN N° MG-01-V Preparado por - Studocu* (Buenaventura, Ed.; 1a ed.). <https://n9.cl/4y0v7>

- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2020). El sector minero como pilar del desarrollo económico en Ecuador. Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. Recuperado de: <https://surl.li/ccjlna>
- Miramira, B., Vilcapoma, L., & Jacay, J. (2016). Caracterización mineralógica y elemental de sedimentos sólidos de la laguna de Yantac, departamento de Junín, provincia de Yauli, distrito de Marcapomacocha, por difracción y fluorescencia de rayos X
Mineralogical characterization and elementary sediment solid lake Yantac department Junín, province Yauli, Marcapomacocha district xy ray diffraction by x-ray fluorescence. 19, 91–96.
- ONU. (2015). Objetivos de desarrollo sostenible. Organización de las Naciones Unidas. <https://n9.cl/ugypm>
- Ortiz, D. (2016). Fundamentos y procedimientos para análisis físico morfológicos de suelos (Zambrano Lozano Karina, Herrera Borja Amarilis, & Cabezas Samanta, Eds.; Primera edición). Ediciones UTMACH. <https://surl.li/jicjtd>
- Pérez, A., & Silva, M. (2018). Caracterización de relaves de oro para su uso en la construcción. *Minería y Geología*, 34(3), 67-75.
- Porras Velázquez, A. (2020). Diplomado en análisis de información geoespacial (1.a ed., Vol. 1). Centro de Investigación en Geografía y Geomática. <https://n9.cl/utz4>
- Quispe, H. (2019, 20 febrero). Muestreo de depósitos de minerales [Diapositivas]. Slideshare.net. <https://surl.li/ycdpwl>
- Recabarren Ortiz, C. (2023). La Historia de la Minería Subterránea en el Mundo. *Revista Digital Minera Chile*: <https://www.redimin.cl/la-historia-de-la-mineria-subterranea-en-el-mundo/>
- Requena, A., Cruz, C., Bastida, A., & Zúñiga, J. (2021). La Aventura del Láser. <https://surl.li/jjrftn>
- Reyes, D. (2010). *Diseño de hormigones de alta resistencia con el uso de agregados especiales y su aplicación en edificaciones* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://surl.li/dpvfel>
- Rivasplata, Z. (s/f). Relaves mineros. Universidad César Vallejo.
- Rodríguez, J., & López, R. (2020). Propiedades del cemento Portland en la producción de hormigón. *Revista de Materiales de Construcción*, 71(350), 123-130.
- Román, M. (2022, 23 de junio). LA IMPORTANCIA DE LA MINERÍA EN LA ECONOMÍA. *Mundo Minero*. <https://surl.li/ozbike>

- Romo, M. (s. f.). *Fundamentos de hormigón simple* [Tesis maestría]. Escuela Politécnica del Ejército del Ecuador.
- Ruiz, M., & Díaz, J. (2021). Análisis de gravas de cantera para su uso en hormigón. *Ingeniería Civil*, 57(4), 89-96.
- Sernageomin. (2018, enero). Preguntas frecuentes sobre relaciones. Servicio Nacional de Geología y Minería. <https://surl.li/voavxf>
- Silva, M., & Fernández, A. (2020). Leyes minerales en relaves de cobre. *Minería y Geología*, 36(2), 34-42.
- Súarez, Y. (2021). *Alternativas Tecnológicas de Recuperación y Aprovechamiento de Relaves Mineros: [Tesis de grado]*. Universidad Industrial de Santander.
- Tierra, L., Toapanta, S., & Manosalavas, A. (2020). *Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea*. 6, 1232–1255. <https://surl.li/qvumnb>
- Torres, P., & Gómez, R. (2020). Propiedades físicas de arenas de cantera. *Revista de Materiales de Construcción*, 68(340), 56-63.
- Torres, P., & Gómez, R. (2021). Diseño y análisis de durmientes de madera para vías férreas. *Ingeniería Civil*, 57(4), 89-96.
- Universidad Politécnica de Catalunya. (2021). En Upcommons.upc (2.a ed., p. 11). <https://n9.cl/lw66d>
- Van Teijlingen, K. (2019). Los depósitos de Relaves en Ecuador y sus riesgos socio-ambientales. En geografiacriticaecuador.org. Recuperado 1 de julio de 2024, de <https://surl.li/kbtoav>
- Zamora, R. (2017). Ventajas y desventajas del análisis por ICP-MS de metales pesados en muestras biológicas. In *BOLETÍN INSTITUCIONAL Bol Inst Nac Salud* (Vol. 23, Issue 8, pp. 54–59). <https://surl.li/tzhsza>
- ZwickRoell. (s/f). *Ensayo de flexión*. ZwickRoell. Recuperado el 22 de junio de 2024, de <https://surl.li/htodkv>

11. Anexos

Anexo 1. Fichas de muestreo del material componente del hormigón.

FICHA DE CAMPO (MUESTREO)		FICHA DE CAMPO (MUESTREO)	
NOMBRE DEL LUGAR	Planta de beneficio Playitas	NOMBRE DEL LUGAR	Planta de beneficio Playitas
MATERIAL	Relave	MATERIAL	Relave
NUMERO DE MUESTRA	#1	NUMERO DE MUESTRA	#2
RESPONSABLE	Stillman Chinchay	RESPONSABLE	Stillman Chinchay
FECHA	1 de octubre de 2024	FECHA	1 de octubre de 2024
UBICACIÓN	X: 650804.9	UBICACIÓN	X: 650802
	Y: 9585141.86		Y: 9585142
	Z: 929		Z: 930
CÓDIGO DE MUESTRA	M1-RP-SC	CÓDIGO DE MUESTRA	M2-RP-SC
FOTOGRAFÍA		FOTOGRAFÍA	
			

FICHA DE CAMPO (MUESTREO)		FICHA DE CAMPO (MUESTREO)	
NOMBRE DEL LUGAR	Planta de beneficio Playitas	NOMBRE DEL LUGAR	Área minera Luis 3
MATERIAL	Relave	MATERIAL	Agregado fino
NUMERO DE MUESTRA	#3	NUMERO DE MUESTRA	#1
RESPONSABLE	Stillman Chinchay	RESPONSABLE	Stillman Chinchay
FECHA	1 de octubre de 2024	FECHA	1 de octubre de 2024
UBICACIÓN	X: 650799	UBICACIÓN	X: 650750.00
	Y: 9585139		Y: 9583637.00
	Z: 930		Z: 935
CÓDIGO DE MUESTRA	M3-RP-SC	CÓDIGO DE MUESTRA	M01-AF
FOTOGRAFÍA		FOTOGRAFÍA	
			

FICHA DE CAMPO (MUESTREO)	
NOMBRE DEL LUGAR	Área minera Luis 3
MATERIAL	Agregado fino
NUMERO DE MUESTRA	#2
RESPONSABLE	Stillman Chinchay
FECHA	1 de octubre de 2024
UBICACIÓN	X: 650748.00
	Y: 9583644.00
	Z: 936
CÓDIGO DE MUESTRA	M02-AF
FOTOGRAFÍA	
	

FICHA DE CAMPO (MUESTREO)	
NOMBRE DEL LUGAR	Área minera Luis 3
MATERIAL	Agregado fino
NUMERO DE MUESTRA	#3
RESPONSABLE	Stillman Chinchay
FECHA	1 de octubre de 2024
UBICACIÓN	X: 650758.00
	Y: 9583644.00
	Z: 936
CÓDIGO DE MUESTRA	M03-AF
FOTOGRAFÍA	
	

FICHA DE CAMPO (MUESTREO)	
NOMBRE DEL LUGAR	Área minera Luis 3
MATERIAL	Agregado fino
NUMERO DE MUESTRA	#4
RESPONSABLE	Stillman Chinchay
FECHA	1 de octubre de 2024
UBICACIÓN	X: 650763.00
	Y: 9583639.00
	Z: 935
CÓDIGO DE MUESTRA	M04-AF
FOTOGRAFÍA	
	

FICHA DE CAMPO (MUESTREO)	
NOMBRE DEL LUGAR	Área minera Luis 3
MATERIAL	Agregado fino
NUMERO DE MUESTRA	#5
RESPONSABLE	Stillman Chinchay
FECHA	1 de octubre de 2024
UBICACIÓN	X: 650758.00
	Y: 9583634.00
	Z: 935
CÓDIGO DE MUESTRA	M05-AF
FOTOGRAFÍA	
	

FICHA DE CAMPO (MUESTREO)	
NOMBRE DEL LUGAR	Área minera Luis 3
MATERIAL	Agregado grueso
NUMERO DE MUESTRA	#1
RESPONSABLE	Stillman Chinchay
FECHA	1 de octubre de 2024
UBICACIÓN	X: 650663.00
	Y: 9583578.00
	Z: 937
CÓDIGO DE MUESTRA	M01-AG
FOTOGRAFÍA	
	

FICHA DE CAMPO (MUESTREO)	
NOMBRE DEL LUGAR	Área minera Luis 3
MATERIAL	Agregado grueso
NUMERO DE MUESTRA	#2
RESPONSABLE	Stillman Chinchay
FECHA	1 de octubre de 2024
UBICACIÓN	X: 650669.00
	Y: 9583581.00
	Z: 936
CÓDIGO DE MUESTRA	M02-AG
FOTOGRAFÍA	
	

FICHA DE CAMPO (MUESTREO)	
NOMBRE DEL LUGAR	Área minera Luis 3
MATERIAL	Agregado grueso
NUMERO DE MUESTRA	#3
RESPONSABLE	Stillman Chinchay
FECHA	1 de octubre de 2024
UBICACIÓN	X: 650667.00
	Y: 9583586.00
	Z: 938
CÓDIGO DE MUESTRA	M03-AG
FOTOGRAFÍA	
	

FICHA DE CAMPO (MUESTREO)	
NOMBRE DEL LUGAR	Área minera Luis 3
MATERIAL	Agregado grueso
NUMERO DE MUESTRA	#4
RESPONSABLE	Stillman Chinchay
FECHA	1 de octubre de 2024
UBICACIÓN	X: 650655.00
	Y: 9583585.00
	Z: 937
CÓDIGO DE MUESTRA	M04-AG
FOTOGRAFÍA	
	

FICHA DE CAMPO (MUESTREO)	
NOMBRE DEL LUGAR	Área minera Luis 3
MATERIAL	Agregado grueso
NUMERO DE MUESTRA	#5
RESPONSABLE	Stillman Chinchay
FECHA	1 de octubre de 2024
UBICACIÓN	X: 650657.00
	Y: 9583580.00
	Z: 937
CÓDIGO DE MUESTRA	M05-AG
FOTOGRAFÍA	
	

Anexo 2. Registro fotográfico general.



Figura 33. Recolección de muestras de agregados

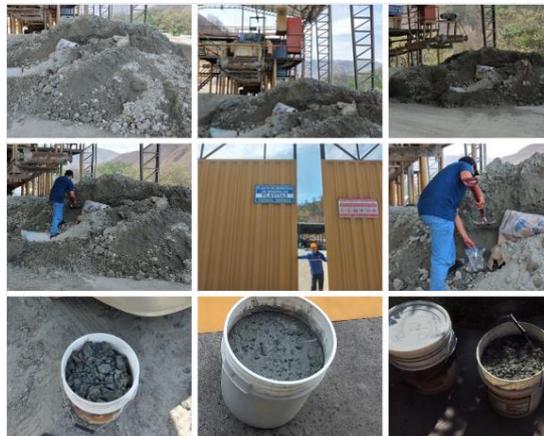


Figura 34. Recolección de muestras de la planta de beneficio "Playitas"



Figura 35. Ensayo del contenido de humedad del relave minero

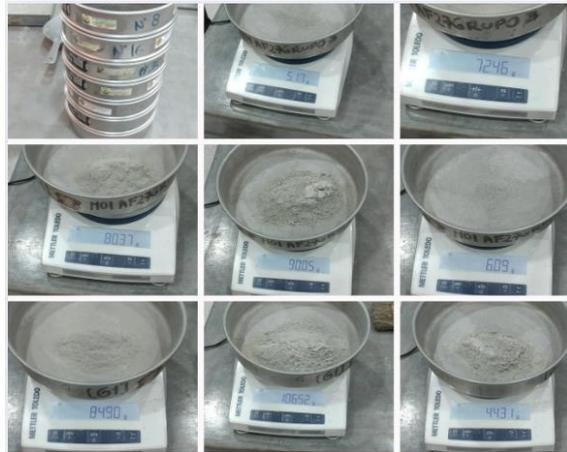


Figura 36. Granulometría del relave minero.



Figura 37. Ensayo de densidad real del relave minero.

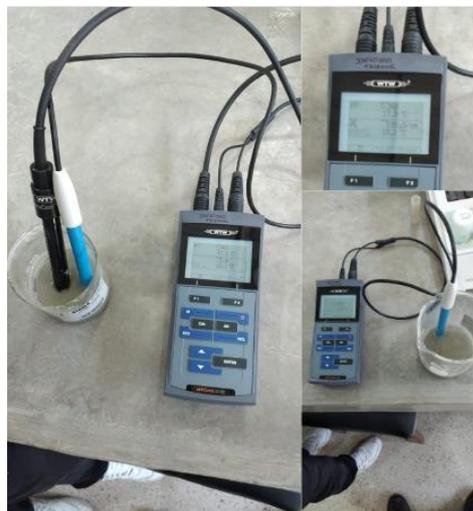


Figura 38. Análisis de conductividad, salinidad y pH de los materiales componentes del hormigón.



Figura 39. Recepción de las muestras en el laboratorio Golden Labs, para determinar la ley mineral del relave minero.



Figura 40. A) Cuarteo del agregado fino; B) Cuarteo del agregado grueso.



Figura 41. Contenido de humedad de los agregados.



Figura 42. Análisis granulométrico de los agregados fino y grueso.



Figura 43. Aplicación de la Norma ASTM C-29, de los agregados componentes del hormigón patrón.

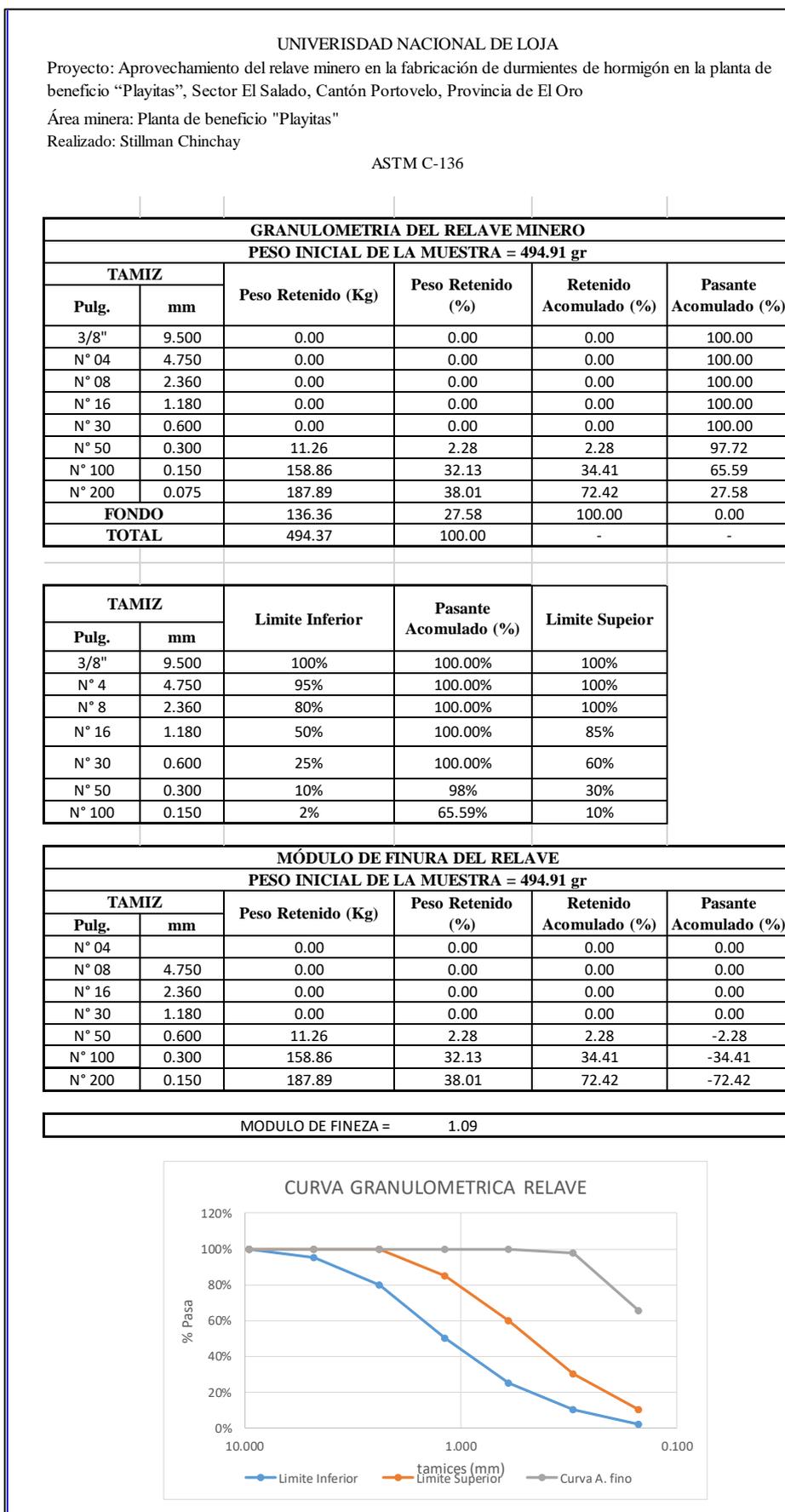


Figura 44. Análisis de las densidades del agregado grueso



Figura 45. Aplicación de la Norma ASTM C-127.

Anexo 3. Ficha de análisis granulométrico del relave minero



Anexo 4. Ficha del análisis de densidad del relave minero

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Proyecto: Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón en la planta de beneficio "Playitas", Sector El Salado, Cantón Portovelo, Provincia de El Oro

Área minera: Relave planta "Playitas"

Realizado: Stillman Chinchay

ASTM C-128

NORMA ASTM C128 RELAVE CON AGREG. FINO			
DATOS:			
MASA DE LA MUESTRA SECA	48.00	gr	
MASA DEL PICNOMETRO MAS AGUA	147.42	cc	
PESO ACUMULADO	179.49	gr	
MASA DE LA MUESTRA EN SSS	50.00	gr	
DENSIDAD RELATIVA SSS	2.670	gr/cm ³	
ABSORCION:	4.17%	%	

Anexo 5. Ficha de contenido de humedad del relave minero

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Proyecto: Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón en la planta de beneficio "Playitas", Sector El Salado, Cantón Portovelo, Provincia de El Oro

Área minera: Planta de beneficio "Playitas"

Realizado: Stillman Chinchay

ASTM C-566

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL RELAVE MIENRO						
Muestra	PESO DE RECIPIENTE	PESO DE LA MUESTRA HUMEDA	PESO HUMEDO	PESO MUESTRA SECA	PESO SECO	PORCENTAJE DE HUMEDAD
N°	gr	gr	gr	gr	gr	%
M001	30.65	137.11	106.46	121.9	91.25	16.67
M002	31.92	142.9	110.98	126.57	94.65	17.25
M003	32.49	133.03	100.54	118.61	86.12	16.74
M004	34.15	143.94	109.79	128.1	93.95	16.86
TOTAL PROMEDIO						16.88



DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS
LABORATORIO DE GEOQUÍMICA ANALÍTICA

Asunto: Informe de Fluorescencia de Rayos X
Método: Mining Light Elements (MLE)
Solicitante: Francisco Heriberto Cárdenas Rojas
Fecha de entrega: 26 de noviembre de 2024

En la siguiente tabla se presentan los valores de composición química, obtenidos mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX) de la muestra de Roca, empleando el equipo Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X portátil marca Bruker S1 Turbo SD.

MUESTRA	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	S (%)	K ₂ O (%)
SC1	16.3	70.3	ND	1.18	1.35
	CaO (%)	ZnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	TiO ₂ (%)
	1.61	0.15	4.11	0.25	0.34
	Pb (%)	-	-	-	-
	0.0063				

Estos resultados corresponden a la composición química de la muestra expresada en elementos mayoritarios (>1%), minoritarios (<1 a 0,1%) y trazas (ppm).

ND: No detectó.

Observaciones: El MgO, Na₂O y Carbono no es analizado por FRX, pero la muestra los puede contener.

Universidad Técnica Particular de Loja (U.T.P.L) y Laboratorio de Geoquímica Analítica se deslindan de toda responsabilidad civil, laboral y penal, derivado del protocolo de muestreo de las alícuotas ingresadas al laboratorio que puedan alterar los resultados del análisis, puesto que en este caso no fueron tomadas por un representante de la U.T.P.L.



Ing. Carlos Roberto Correa J.
Técnico de Laboratorio de Geoquímica Analítica

Anexo 7. Análisis mineralógico por difracción de rayos x.



Universidad Técnica Particular de Loja

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento de Geociencias

Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X

Cliente: Stillman Chinchay Ortega

Fecha: 25-11-2024

INFORME DE DRX

A continuación, se presenta el informe de análisis mineralógico por Difracción de Rayos X de la muestra correspondiente al PED059; empleando el Difractómetro D8 ADVANCE, el software para determinación cualitativa y semicuantitativa HighScore Plus y la base de datos de la Crystallography Open Database.

Muestra	Fases Minerales	Semicuantificación (%)
S_Ch-001	Illita	25.1
	Cuarzo	70.6
	Pirita	2.0
	Clorita	2.3

Este análisis mineralógico semicuantitativo refleja la composición de la parte cristalina de la muestra. La misma puede contener fases amorfas. El laboratorio no se hace responsable por el muestreo previo al análisis.



Mgtr. Renato Gonzalez Z.
Laboratorio de Beneficio de
Minerales

P. D.: Se adjuntan difractograma

Anexo 8. Leyes minerales del relave minero estudiado



INFORME DE ENSAYOS

N° 4102-24

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE:

Nombre/Razón Social: * ASOPROMIN
Solicitante: * N/A
Dirección: * --

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:

Tipo de Muestra: * ARENA
Envase: * Funda Plastica
Condiciones de la Muestra: * En buenas condiciones
Fecha de Muestreo: * 28/9/2024
Referencia: * N/A
Orden de Trabajo N°: 24-5075
Fecha de Recepción: 28/9/2024 9:20
Fecha de Análisis: sábado, 28 de septiembre de 2024
Fecha de Emisión del Informe: 28/9/2024 18:03

Observaciones:

* Datos proporcionados por el cliente. GoldenLabs no se responsabiliza por dicha información.

Las actividades del laboratorio se desarrollan en las instalaciones de GoldenLabs en el sector El Pache.

Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.



INFORME DE ENSAYOS

N° 4102-24

RESULTADOS

C-Lab	Comp. N°	*IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Elemento	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Hum
				Oro-Total	Plata-Total	Cobre	Plomo	Zinc	Arsénico	Antimonio	Bismuto	Humedad
			Unidades	g/t	g/t	%	%	%	%	%	%	%
			Metodo	E.F	E.F	A.A	A.A	A.A	A.A	A.A	A.A	GV
24-9019	1	Relave playitas 1		0,30	2,83	2,28	---	---	---	---		

C-Lab: Código que el laboratorio le asigna a la muestra.

Comp. N°: Número de muestras que conforman el composito.

Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.

GoldenLabs no se responsabiliza por desviaciones relacionadas con el muestreo.

La Identificación de la Muestra es proporcionada por el cliente. GoldenLabs no se responsabiliza por esta información.

MÉTODOS:

- Au, Ag: PEE-GOLDEN-01. Determinación de Oro y Plata por Ensayo al Fuego con Finalización Gravimétrica.



firmado electrónicamente por:
YENI ESTEFANIA
AJILA RUEDA



FIN DEL INFORME DE RESULTADOS

Presidente de GoldenLabs

Los resultados de este informe solo son aplicables a las muestras analizadas. Está prohibida la reproducción parcial o total de este informe por cualquier medio sin la aprobación escrita de GOLDENLABS. El laboratorio se compromete a la imparcialidad y confidencialidad de la información de los resultados.

Dirección: Zaruma -El Oro: Avenida Principal Piñas - Zaruma, Zona Industrial El Pache

Teléfonos: 0991518767
E-mail: goldenlab@hotmail.es

R-PG-GOLDEN-10-01-02
Página 2 de 2

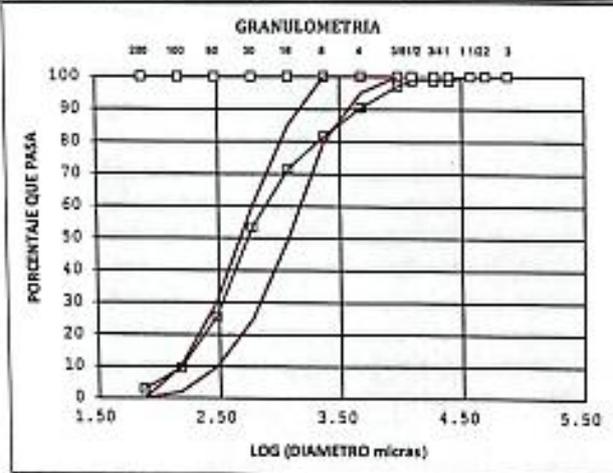
Anexo 9. Granulometría del árido fino



ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

GRANULOMETRÍA ÁRIDO FINO
ASTM D422

PROYECTO : APROVECHAMIENTO DEL RELAVE MINERO EN LA FABRICACIÓN DE DURMIENTES DE HORMIGÓN EN LA PLANTA DE BENEFICIO "PLAYITAS", SECTOR EL SALADO, CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO						
OBRA : DISEÑO DE HORMIGONES						
SOLICITA : SR. STILLMAN CHINCHAY				MINA: LUIS 3		
OPERADOR : D.O.				MUESTRA : ARENA DE RÍO 3/4"		
FECHA : OCTUBRE-2024				PROFUNDIDAD : STOCK		
H/S : 5						
C.H. :		0.00	%	LIMITE LIQUIDO:		N.P.
PESO IN :						
HUMEDO:		3,519.00	gr	LIMITE PLASTICO:		N.P.
PESO SECO:		3,519.00	gr			
MALLA No.	MASA RET. PARCIAL (gr)	MASA RET. ACUMULADA (gr)	% RET.	% PASA	% PASA CORREG.	% RET.AC
3	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
1 1/2	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
1	44.00	44.00	1.25	98.75	98.75	1.25
3/4	0.00	44.00	1.25	98.75	98.75	1.25
1/2	3.17	47.17	1.34	98.66	98.66	1.34
3/8	54.77	103.94	2.95	97.05	97.05	2.95
# 4	231.95	335.89	9.55	90.45	90.45	9.55
PASA # 4	3,183.11	3,183.11	90.45			
SUMAN	3,519	3,519	100.00			
PESO HUM=	3183.11	w% =	0.00	P. SECO=	3183.11	
# 8	309.01	309.01	9.71	90.29	81.67	18.33
# 16	355.26	664.27	20.87	79.13	71.58	28.42
# 30	635.39	1299.66	40.83	59.17	53.52	46.48
# 50	981.58	2181.24	71.67	28.33	25.63	74.37
# 100	565.31	2846.56	89.43	10.57	9.56	90.44
# 200	234.61	3081.17	96.80	3.20	2.90	97.10
PASA #200	101.94	101.94	3.20			
SUMAN	3183.11	3183.11	100.00			



M.F.: 2.74



Teléfono: (07)2613699. Celular: 0993883061-0999692335-0980253180 Email: estsuelcon@gmail.com

Anexo 10. Granulometría del árido grueso

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Proyecto: Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón en la planta de beneficio "Playitas", Sector El Salado, Cantón Portovelo, Provincia de El Oro

Área minera: Luis 3

Realizado: Stillman Chinchay

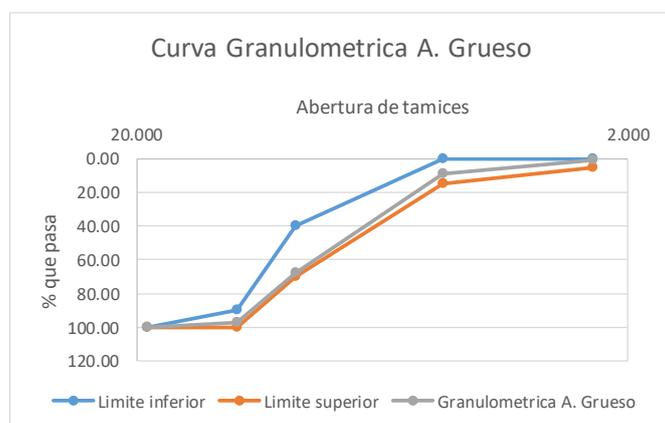
ASTM C-136

PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 2 Kg					
TAMIZ		Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acomulado (%)	Pasante Acomulado (%)
Pulg.	mm				
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	60.20	3.00	3.00	97.00
3/8"	9.51	579.30	28.89	31.90	68.10
# 4	4.75	1186.10	59.16	91.05	8.95
# 8	2.36	158.10	7.89	98.94	1.06
# 16	1.18	18.80	0.94	99.88	0.12
FONDO		2.50	0.12	100.00	0.00
TOTAL		2005.00	100.00	-	-

TAMIZ		Limite Inferior (%)	Pasante Acomulado (%)	Limite Superior (%)	CONDICIONAL
Pulg.	mm				
3/4"	19.000	100.00	100.00	100.00	CUMPLE
1/2"	12.500	90.00	97.00	100.00	CUMPLE
3/8"	9.500	40.00	68.10	70.00	CUMPLE
N° 4	4.750	0.00	8.95	15.00	CUMPLE
N° 8	2.360	0.00	1.06	5.00	CUMPLE

CANTERA "X" - M1				
PESO INICIAL DE LA MUESTRA = 2 Kg				
TAMIZ		Peso Retenido (Kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acomulado (%)
Pulg.	mm			
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.70	60.20	3.00	3.00
3/8"	9.51	579.30	28.89	31.90
# 4	4.75	1186.10	59.16	91.05
# 8	2.36	158.10	7.89	98.94
# 16	1.18	18.80	0.94	99.88

MODULO DE FINEZA = 6.21



Anexo 11. Aplicación de la Norma ASTM C-29, para agregado grueso.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Proyecto: Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón en la

Área minera: Luis 3

Realizado: Stillman Chinchay

ASTM C-29

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO GRUESO					
Número de ensayos	Peso del molde	Peso de muestra + molde	Peso de la muestra sss	Volumen del molde	Peso unitario suelto sss
	gr	gr	gr	cm ³	gr/cm ³
Ensayo 1	8912.5	27752	18839.5	13929.56	1.35
Ensayo 2	8912.5	27685	18772.5	13929.56	1.35
Ensayo 3	8912.5	27783	18870.5	13929.56	1.35
PUS Promedio				gr/cm ³	1.35

PESO UNITARIO COMPACTADO AGREGADO GRUESO					
Número de ensayos	Peso del molde	Peso de muestra + molde	Peso de la muestra sss	Volumen del molde	Peso unitario compactado sss
	gr	gr	gr	cm ³	gr/cm ³
Ensayo 1	8912.5	29706.5	20794	13929.56	1.49
Ensayo 2	8912.5	29794	20881.5	13929.56	1.50
Ensayo 3	8912.5	29711	20798.5	13929.56	1.49
PUC Promedio				gr/cm ³	1.49

Anexo 12. Aplicación de la Norma ASTM C-29, en el material combinado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Proyecto: Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón en la

Área minera: Luis 3 y plant

Realizado: Stillman Chinchay

ASTM C-29

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO FINO MAS RELAVE					
Número de ensayos	Peso del molde	Peso de muestra + molde	Peso de la muestra SSS	Volumen del molde	Peso unitario suelto SSS
	gr	gr	gr	cm ³	gr/cm ³
Ensayo 1	2577	6753	4176	3012.92	1.39
Ensayo 2	2577	6764.5	4187.5	3012.92	1.39
Ensayo 3	2577	6747	4170	3012.92	1.38
PUS Promedio				gr/cm ³	1.39

PESO UNITARIO COMPACTADO AGREGADO FINO MAS RELAVE					
Número de ensayos	Peso del molde	Peso de muestra + molde	Peso de la muestra SSS	Volumen del molde	Peso unitario compactado SSS
	gr	gr	gr	cm ³	gr/cm ³
Ensayo 1	2577	7622.5	5045.5	3012.92	1.67
Ensayo 2	2577	7640.5	5063.5	3012.92	1.68
Ensayo 3	2577	7631	5054	3012.92	1.68
PUC Promedio				gr/cm ³	1.68

Anexo 13. Normas ASTM C-128 y ASTM C-127

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Proyecto: Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón en la planta de beneficio "Playitas", Sector El Salado, Cantón Portovelo, Provincia de El Oro

Área minera: Luis 3

Realizado: Stillman Chinchay

ASTM C-128 / ASTM C-127

NORMA ASTM C128		
DATOS:		
PESO DEL RECIPIENTE	142.08	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	497.32	gr
MASA DEL PICNOMETRO MAS AGUA	632.47	cc
PESO ACUMULADO	943.97	gr
MASA DE LA MUESTRA EN SSS	500.03	gr
DENSIDAD RELATIVA SSS	2.631	gr/cm ³
ABSORCION:	0.54%	%

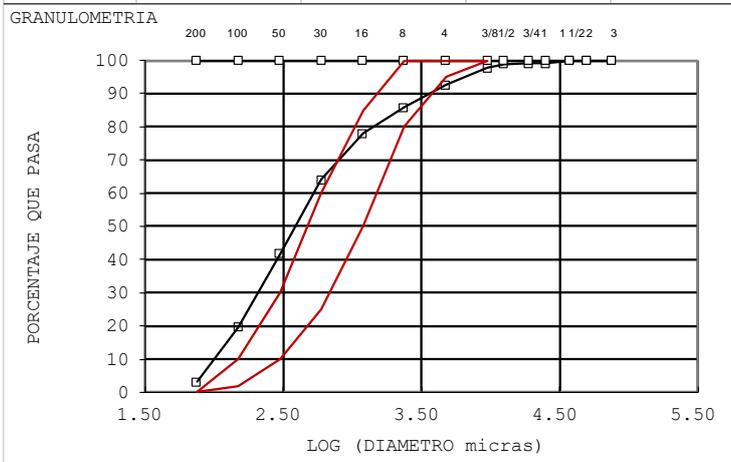
NORMA ASTM C127		
DATOS:		
PESO DE LA MUESTRA SECA EN EL AIRE	2946.80	gr
PESO DE LA MUESTRA SSS EN EL AIRE	3000.60	gr
PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SSS	1834.03	cc
DENSIDAD DEL AGUA	0.998	gr/cc
PESO ESPECIFICO	2.526	gr/cm ³
PESO ESPECIFICO SSS	2.567	gr/cm ³
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.642	gr/cm ³
ABSORCIÓN	1.83%	%

Anexo 14. Granulometría del material combinado

GRANULOMETRÍA ÁRIDO FINO

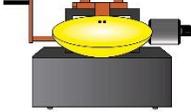
ASTM D422

PROYECTO	: Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón.					
OBRA	: HORMIGÓN PATRÓN					
UBICACIÓN	: PORTOVELO					
OPERADOR	: Stillman Chinchay			MUESTRA	PLAYITAS	
FECHA	: NOVIEMBRE 2024			PROFUNDIDAD	STOCK	
H/S	: S					
C.H.	: 0.00	%	LIMITE LIQUIDO:		N.P.	
PESO IN HUMEDO:	4,547.30	gr	LIMITE PLASTICO:		N.P.	
PESO SECO:	4,547.30	gr				
MALLA No.	MASA RET. PARCIAL (gr)	MASA RET. ACUMULADA (gr)	% RET.	% PASA	% PASA CORREG.	% RET.AC
3	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
1 1/2	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
1	44.00	44.00	0.97	99.03	99.03	0.97
3/4	0.00	44.00	0.97	99.03	99.03	0.97
1/2	3.17	47.17	1.04	98.96	98.96	1.04
3/8	56.77	103.94	2.29	97.71	97.71	2.29
# 4	231.95	335.89	7.39	92.61	92.61	7.39
PASA # 4	4,211.41	4,211.41	92.61			
SUMAN	4,547	4,547	100.00			
PESO HUM=	4211.41	w% =	0.00	P.SECO=	4211.41	
# 8	309.01	309.01	7.34	92.66	85.82	14.18
# 16	355.01	664.02	15.77	84.23	78.01	21.99
# 30	635.39	1299.41	30.85	69.15	64.04	35.96
# 50	1012.68	2312.09	54.90	45.10	41.77	58.23
# 100	1003.63	3315.73	78.73	21.27	19.70	80.30
# 200	753.14	4068.87	96.62	3.38	3.13	96.87
PASA #200	142.54	142.54	3.38			
SUMAN	4211.41	4211.41	100.00			



M F. : 2.23

Anexo 15. Ensayo de sulfatos del material combinado.

 ESTSUELCON	ETSUELCON CIA. LTDA							
	ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA							
	Tele-fax: 2613699. Celular: 093883061-099692335 Email: estsuelcon@gmail.com							
	SOLUCIÓN:	SULFATO DE MAGNESIO						
	PROYECTO:	APROVECHAMIENTO DE RALAVE MINERO EN LA ELABORACION DE DURMIENTES DE HORMIGON						
	OBRA:	DISEÑO DE HORMIGONES						
	SOLICITA:	SR. STILLMAN CHINCHAY						
	MINA:	LUIS 3 Y PLAYITAS						
	MUESTRA	COMBINADO 30/70						
	ENSAYADO POR:	D.O						
FECHA	oct-24							
RESISTENCIA A LA DISGREGACIÓN								
SERIE FINA								
FRACCIÓN	TAMIZ		GRADACION DE LA MUESTRA ORIGINAL (%)	MASA AHTES DEL ENSAYO (g)	MASA DESP. DEL ENSAYO (g)	PERDIDA(%)	PERDIDA COMPENSADA (%)	OBSERVACIONES
	Pasante	Retenido						
1	9,5mm (3/16")	4,75mm IN41	92	10,003	8,191	181	17	DESgaste A SULFATOS FINO 13.6% SUPERIOR AL MINIMO 12%
2	4,75mm IN41	2,30mm IN81	123	100	8,301	170	21	
3	2,36mm IN81	1,18mm IN150	141	100	8,823	118	17	
4	1,18mm IN150	750µm IN200	253	100	8,399	160	40	
5	750µm IN200	425µm IN40	391	100	7,158	284	41	
TOTAL			1,000				136	

LABORATORIO
ING. CLAUDEL GUERRERO

SOLICITA:
SR. STILLMAN CHINCHAY

Anexo 16. Estudio de abrasión del agregado grueso



ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE ABRASIÓN INEN 861

PROYECTO :	APROVECHAMIENTO DEL RELAVE MINERO EN LA FABRICACIÓN DE DURMIENTES DE HORMIGÓN EN LA PLANTA DE BENEFICIO "PLAYITAS", SECTOR EL SALADO, CANTÓN PORTOVELO, PROVINCIA DE EL ORO		
OBRA :	DISEÑO DE HORMIGONES		
SOLICITA :	SR. STILLMAN CHINCHAY	MINA:	LUIS 3
OPERADOR :	D.O.	MUESTRA :	ARENA DE RÍO 3/4"
FECHA	OCTUBRE-2024	PROFUNDIDAD:	STOCK

ENSAYO DE ABRASIÓN MÉTODO D

TAMIZ PASA	TAMIZ RET.	MASA IN.	MASA FINAL	%
1 1/2"	1"	0.00		
1"	3/4"	0.00		
3/4"	1/2"	5,001.86		
1/2"	3/8"	0.00		
SUMA		5,001.86	3,936.00	21.31%
ESPECIF.:		40.00%	CUMPLE	SI

Número de esferas:	6	Masa carga abrasiva	2,502.62 gr.
Porcentaje de Abrasión:			21.31 %

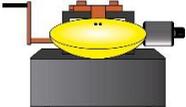
Valor de abrasión en % $V = (A - B) / Ax100$	Desgaste a la Abrasión Máximo Porcentaje 40%
---	---

OBSERVACIONES:



Tele-fax: (07)2613499. Celular: 099843063-099692315-099357180 Email: estsuelcon@gmail.com

Anexo 17. Estudio de sulfatos del agregado fino

 ESTSUELCON	ETSUELCON CIA. LTDA							
	ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA							
	Tele-fax: 2613699. Celular: 093883061-099692335 Email: estsuelcon@gmail.com							
	SOLUCIÓN:	SULFATO DE MAGNESIO						
	PROYECTO:	APROVECHAMIENTO DE RALAVE MINERO EN LA ELABORACION DE DURMIENTES DE HORMIGON						
	OBRA:	DIESÑO DE HORMIGONES						
	SOLICITA:	SR. STILLMAN CHINCHAY						
	MINA:	LUIS 3						
MUESTRA	ARENA							
ENSAYADO POR:	D.O							
FECHA	oct-24							
RESISTENCIA A LA DISGREGACIÓN								
SERIE FINA								
FRACCIÓN	TAMIZ		GRADACION DE LA MUESTRA ORIGINAL (%)	MASA AHTES DEL ENSAYO (g)	MASADESP. DEL ENSAYO (g)	PERDIDA(%)	PERDIDA COMPENSADA (%)	OBSERVACIONES
	Pasante	Retenido						
1	9,5mm (3/16")	4,75mm (N°4)	83	100	94.15	5.85	4.86	DESGASTE A SULFATOS FINO 10.8%
2	4.75mm (N°4)	2.30mm (N°8)	132	100	92.56	7.44	9.82	
3	2.36mm (N°8)	1,18mm (N°16)	178	100	91.74	8.26	14.70	
4	1,18mm (N°16)	750µm (N°20)	267	100	88.37	11.63	31.05	
5	750µm (N°20)	425µm (N°40)	340	100	86.14	13.86	47.12	
TOTAL			1,000				108	

LABORATORIO
ING. CLAUDEL GUERRERO

SOLICITA:
SR. STILLMAN CHINCHAY

Anexo 18. Análisis granulométrico del material combinado

GRANULOMETRÍA ÁRIDO FINO						
ASTM D422						
PROYECTO	: Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón.					
OBRA	: HORMIGÓN PATRÓN					
UBICACIÓN	: PORTOVELO					
OPERADOR	: Stillman Chinchay			MUESTRA	PLAYITAS	
FECHA	: NOVIEMBRE 2024			PROFUNDIDAD	STOCK	
H/S	: S					
C.H.	: 0.00 %		LIMITE LIQUIDO:	N.P.		
PESO IN HUMEDO:	4,547.30 gr		LIMITE PLASTICO:	N.P.		
PESO SECO:	4,547.30 gr					
MALLA No.	MASA RET. PARCIAL (gr)	MASA RET. ACUMULADA (gr)	% RET.	% PASA	% PASA CORREG.	% RET.AC
3	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
1 1/2	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
1	44.00	44.00	0.97	99.03	99.03	0.97
3/4	0.00	44.00	0.97	99.03	99.03	0.97
1/2	3.17	47.17	1.04	98.96	98.96	1.04
3/8	56.77	103.94	2.29	97.71	97.71	2.29
# 4	231.95	335.89	7.39	92.61	92.61	7.39
PASA # 4	4,211.41	4,211.41	92.61			
SUMAN	4,547	4,547	100.00			
PESO HUM=	4211.41	w% =	0.00	P.SECO=	4211.41	
# 8	309.01	309.01	7.34	92.66	85.82	14.18
# 16	355.01	664.02	15.77	84.23	78.01	21.99
# 30	635.39	1299.41	30.85	69.15	64.04	35.96
# 50	1012.68	2312.09	54.90	45.10	41.77	58.23
# 100	1003.63	3315.73	78.73	21.27	19.70	80.30
# 200	753.14	4068.87	96.62	3.38	3.13	96.87
PASA #200	142.54	142.54	3.38			
SUMAN	4211.41	4211.41	100.00			

	<p>M F. : 2.23</p>
--	--------------------

Anexo 19. Densidad aplicando la Norma ASTM C-29, al material combinado.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Proyecto: Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón en la

Área minera: Luis 3 y plant

Realizado: Stillman Chinchay

ASTM C-29

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO FINO MAS RELAVE					
Número de ensayos	Peso del molde	Peso de muestra + molde	Peso de la muestra SSS	Volumen del molde	Peso unitario suelto SSS
	gr	gr	gr	cm ³	gr/cm ³
Ensayo 1	2577	6753	4176	3012.92	1.39
Ensayo 2	2577	6764.5	4187.5	3012.92	1.39
Ensayo 3	2577	6747	4170	3012.92	1.38
PUS Promedio				gr/cm ³	1.39

PESO UNITARIO COMPACTADO AGREGADO FINO MAS RELAVE					
Número de ensayos	Peso del molde	Peso de muestra + molde	Peso de la muestra SSS	Volumen del molde	Peso unitario compactado SSS
	gr	gr	gr	cm ³	gr/cm ³
Ensayo 1	2577	7622.5	5045.5	3012.92	1.67
Ensayo 2	2577	7640.5	5063.5	3012.92	1.68
Ensayo 3	2577	7631	5054	3012.92	1.68
PUC Promedio				gr/cm ³	1.68

Anexo 21. Dosificación del hormigón con 30 % de relave minero, de 35 MPa.

DOSIFICACION DE HORMIGONES CON RELAVE

RESISTENCIA: 350 Kg/cm2 METOD: A.C.I.
 REALIZADO: Stillman Chinchay
 FECHA: nov-24

DATOS DE LOS MATERIALES						
MATERIALES	ORIGEN	D _{ss} (Ton/m ³)	D _{ac} (Ton/m ³)	Da	M.F.	%AD.
CEMENTO		3.15				
ARENA+REL	PORTOVELO	2.670	1.680	1.390	1.88	4.17
GRAVA	PORTOVELO	2.567	1.490	1.35	6.21	1.77

VARIABLES			
a/c=	0.39	Asent.(cm)=	8.75 (7,5 a 10)
Vol apc G =	644	agua(L)=	219
% GRA. ARE.=	7.39	% Are. Gra.	8.95
		Trit. (S/N)	S

DOSIFICACION						
MATERIAL	VOL.REAL (Kg)	DOS.PESO (Kg)	D. UNIT. (Kg)	D. SACO (Kg)	VOL. AP. (dm ³)	VOL AP.
CEMENTO	176	555	1.00	50.00		555
AIRE	25					
AGUA	219	219	0.39	19.72		219
ARENA	206	550	0.99	49.58	35.67	396
GRAVA	374	960	1.73	86.49	64.06	711
SUMAN	1000	2284		H. F. =	2.28	

CORRECCION DE ARENA Y GRAVA						
MATERIAL	VOL.REAL (dm ³)	DOS.PESO (kg)	D. UNIT. (Kg)	D. SACO (kg)	VOL. AP. (dm ³)	PARI.
ARENA	188	502	0.90	45.20	32.52	0.90
GRAVA	392	1007	1.81	90.70	67.19	1.87

PARIHUELAS			
ARENA	33	33	33 cm.
GRAVA	33	33	33 cm.

VOLÚMEN DE ÁRIDO POR m ³ DE HORMIGÓN		
ARENA	360.87 dm3	0.36087m3
GRAVA	745.66 dm3	0.74566m3
CEMENTO	554.91 Kg	11.10 sacos

RESPONSABLE:

Stillman Chinchay
LABORATORIO

Anexo 22. Resistencia de las probetas de hormigón a los 7 días.



ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA
Teléfono: 2613699. Celular: 093883061-095092325 Email: estsuelcon@gmail.com

PRUEBAS EN CILINDROS DE HORMIGÓN (ASTM C39M - INEN 1573)

PROYECTO: APROVECHAMIENTO DE RALAVE EN DURMIENTES DE HORMIGON

OBRA: TESIS

SOLICITA: SR. STILLMAN CHINCHAY FECHA = 19-nov-24

UBICACIÓN: PORTOVELO RESISTENCIA= 350 Kg/cm²

COMENTARIOS:

#	OBRA	FECHA FUNDICIÓN	TIEMPO DÍAS	FECHA ROTURA	DIÁMETRO cm	ÁREA cm²	CARGA Kg	RESIST. Kg/cm²	REQUERIDA Kg/cm²
1	BASE DE RELAVE	12-nov-24	7	19-nov-24	15.45	187.38	42945.97	229.19	233
2		12-nov-24	7	19-nov-24	15.25	182.56	44240.57	242.33	233
							PROMEDIO	235.76	-
3	HORMIGON SIMPLE	12-nov-24	7	19-nov-24	15.23	182.08	48236.49	264.91	233
4		12-nov-24	7	19-nov-24	15.06	178.04	47706.42	267.95	233
							PROMEDIO	266.43	



SOLICITA:
SR. STILLMAN CHINCHAY

Anexo 23. Resistencia a la compresión a los 28 días.



ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA
 Tele-fax: 2613699. Celular: 093883061-099692335 Email: estsuelcon@gmail.com

PRUEBAS EN CILINDROS DE HORMIGÓN (ASTM C39M - INEN 1573)

PROYECTO:	APROVECHAMIENTO DE RALAVE MINERO EN LA ELABORACION DE DURMIENTES DE HORMIGON		
OBRA:	TESIS	FECHA =	10-dic-24
SOLICITA:	SR. STILLMAN CHINCHAY	RESISTENCIA=	350 Kg/cm ²
UBICACIÓN:	PORTOVELO		

COMENTARIOS:

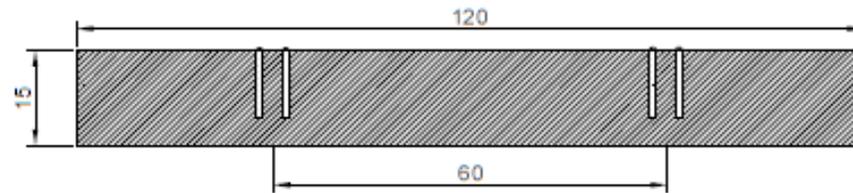
#	OBRA	FECHA FUNDICIÓN	TIEMPO DÍAS	FECHA ROTURA	DIÁMETRO cm	ÁREA cm ²	CARGA Kg	RESIST. Kg/cm ²	REQUERIDA Kg/cm ²
1	BASE DE RELAVE	12-nov-24	28	10-dic-24	15.12	179.46	65280.33	363.76	350
2		12-nov-24	28	10-dic-24	15.16	180.41	66534.15	368.79	350
							PROMEDIO	366.27	
3	HORMIGON SIMPLE	12-nov-24	28	10-dic-24	15.00	176.63	66102.28	374.18	350
4		12-nov-24	28	10-dic-24	15.00	176.63	70163.10	397.24	350
							PROMEDIO	397.24	

LABORATORIO
 ING. CLAUDEL GUERRERO

SOLICITA:
 SR. STILLMAN CHINCHAY

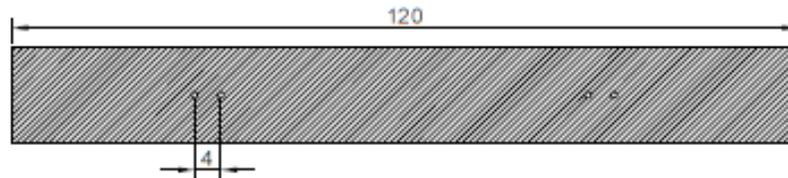
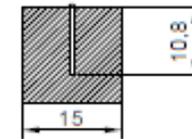
Anexo 24. Diseño del durmiente de madera diseñado.

PLANO CONSTRUCTIVO DEL DURMIENTE DE MADERA



VISTA DE PERFIL

VISTA FRONTAL



VISTA DE PLANTA

LEYENDA

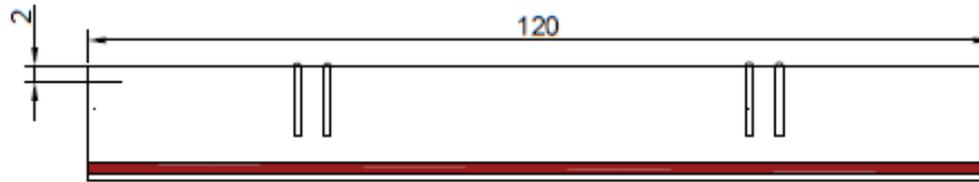


Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
INFRAESTRUCTURA				3.6
Madera de Yumbingue (15 cm*15 cm)	m	1.2	3	3.6
ELEMENTOS DE SIJECIÓN				9.5
Clavos de anclaje, placas, anclas	kg	2	4.75	9.5
SON:				13.1
IVA 15%				1.96
Total				15.06

ESCALA:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
1:10	ABUNTO, PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
	DR. STILIANI CHIROHAY
	REV. ING. DIEGO CASTILLO
PLANO ESTRUCTURAL	
DURMIENTE DE MADERA	FECHA: 20/11/2024
Dib. No. 1	

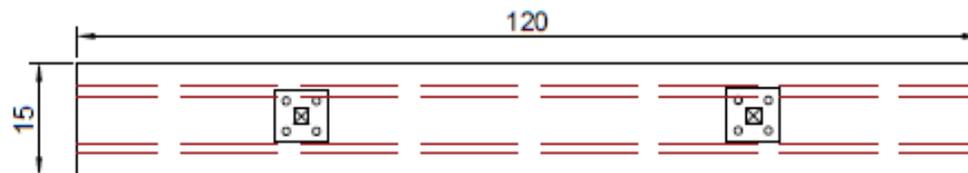
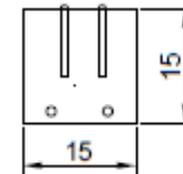
Anexo 25. Diseño del durmiente de hormigón pretensado.

PLANO CONSTRUCTIVO DEL DURMIENTE DE HORMIGÓN



VISTA DE PERFIL

VISTA FRONTAL



VISTA DE PLANTA

LEYENDA

HORMIGÓN ARMADO	
PLACA RIELERA	
VARILLA 1/2 pulgada	
PERNOS 3.5"	

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
INFRAESTRUCTURA				
Hormigón estructural de cemento Portland, clase B $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$	m ³	0.0270	193.58	5.23
Acero de refuerzo	kg	0.16	28.05	4.53
ELEMENTOS DE SUJECIÓN				
Placas de sujeción kit (pernos, placa base, almohadillas)	s/u	2.00	14.55	29.10
SONs				38.96
IVA 15%				5.84
Total				44.8

ESCALA:

1:10

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ASUNTO: PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

D.B. STELLMANN CHINCHAY

REV. ING. DIEGO CASTILLO

PLANO ESTRUCTURAL

DURMIENTE DE HORMIGÓN ARMADO A BASE DE
RELAVE MINERO

FECHA: 20/11/2024

Dib. No. 1

Anexo 26. Análisis de precios unitarios de la madera de Yumbingue.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
CONSULTOR:		Stillman Chinchay				
PROYECTO:	Durmiente de madera					
RUBRO:	Precio unitario de madera tratada de 15*15 cm (provisión y montaje)			UNIDAD:	m	
EQUIPOS						
	Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	Herramienta menor	5.00 %MO	0.04			0.04
SUBTOTAL M						0.04
MANO DE OBRA						
	Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	Peón	1	2	2.00	0.2	0.40
	Maestro	1	2.27	2.27	0.2	0.45
SUBTOTAL N						0.85
MATERIALES						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
	Vigas de madera tratada de 15*15	m	1	3	3.00	
SUBTOTAL O						3.00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					3.89	
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.00 %					0.78	
OTROS INDIRECTOS: 0.00 %					0.00	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA. COSTO TOTAL DEL RUBRO					4.67	
VALOR OFERTADO					4.67	

Anexo 27. Análisis de precios unitarios de los elementos de sujeción en los durmientes de madera.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
CONSULTOR:		Stillman Chinchay				
PROYECTO:	Durmiente de madera					
RUBRO:	Elementos de sujeción			UNIDAD:	kg	
EQUIPOS						
Descripción		Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor		5.00 %MO	0.02			0.02
SUBTOTAL M					0.02	
MANO DE OBRA						
Descripción		Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón		1	2	2.00	0.2	0.40
SUBTOTAL N					0.40	
MATERIALES						
Descripción			Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo
Placas de aciento			s/u	1	3	3.00
Anclas para durmientes			s/n	1	0.25	0.25
Clavos (4")			kg	1	1.5	1.50
SUBTOTAL O					4.75	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	5.17
					INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.00 %	1.03
					OTROS INDIRECTOS: 0.00 %	0.00
					COSTO TOTAL DEL RUBRO	6.20
					VALOR OFERTADO	6.21

Anexo 28. Análisis de precios unitarios del hormigón $f'c=35$ MPa.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
CONSULTOR:		Stillman Chinchay			
PROYECTO		Durmiente de hormigón			
RUBRO:	Hormigón estructural de cemento Portland, $f'c=350$ kg/cm ²			UNIDAD:	m ³
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor	5.00 %MO	0.56			0.56
Concretera de 1 saco	1	1.75	1.75	1	1.75
Vibrador de hormigón (8HP)	1	1.92	1.92	1	1.92
SUBTOTAL M					4.23
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Ayudante	2	2.27	4.54	1	4.54
Ayudante (encofrador)	1	2.27	2.27	1	2.27
Maestro albañil	1	2.15	2.15	1	2.15
Maestro encofrador	1	2.15	2.15	1	2.15
SUBTOTAL N					11.11
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Cemento Portland	kg	555	0.14	77.70	
Arena Fina	m ³	0.28	4.52	1.27	
Agua	m ³	0.219	3.1	0.68	
Encofrado	glb	0.5	25	12.50	
Grava	m ³	0.6	6.37	3.82	
Placa de sujeción (KIT)	s.u	2	25	50	
SUBTOTAL O					145.97
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					161.31
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.00 %					32.26
OTROS INDIRECTOS: 0.00 %					0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					193.57
VALOR OFERTADO					193.58

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

Anexo 29. Análisis de precios unitarios de los elementos de sujeción en los durmientes de hormigón.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
CONSULTOR:		Stillman Chinchay				
PROYECTO:	Durmiente de hormigón					
RUBRO:	Elementos de ajuste			UNIDAD:	s/u	
EQUIPOS						
	Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	Herramienta menor	5.00 %MO	0.01			0.01
SUBTOTAL M						0.01
MANO DE OBRA						
	Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	Peón	1	2	2.00	0.0538	0.11
SUBTOTAL N						0.11
MATERIALES						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.		Costo
	Plcas de sujeción (kit:pernos, almohadilla, placa)	s/u	1	12		12.00
SUBTOTAL O						12.00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)						12.12
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.00 %						2.42
OTROS INDIRECTOS: 0.00 %						0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO						14.54
VALOR OFERTADO						14.55

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

Anexo 30. Análisis de precios unitarios del acero pretensado.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
CONSULTOR:		Stillman Chinchay				
PROYECTO:	Durmiente de hormigón					
RUBRO:	Acero de refuerzo f'c= 4200kg/cm2			UNIDAD:	kg	
EQUIPOS						
	Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	Herramienta menor	5.00 %MO	0.04			0.04
	Gato hidraulico para pretensado	1		8	0.85	6.80
	Banco de pretensado	1	1.71	1.71	0.85	1.45
SUBTOTAL M						8.29
MANO DE OBRA						
	Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	Estr. Oc. E2 (Peon) CI	3	3.62	10.86	0.0538	0.58
	Fierro	1	3.66	3.66	0.0538	0.20
SUBTOTAL N						0.78
MATERIALES						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
	Acero de refuerzo (varilla 1/2 ")	kg	1	1.2	1.20	
SUBTOTAL O						1.20
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)						10.27
INDIRECTOS Y UTILIDADES: 20.00 %						2.05
OTROS INDIRECTOS: 0.00 %						0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO						12.32
VALOR OFERTADO						12.33

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

Anexo 31. Certificado de traducción.

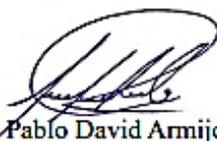
Loja, 17 de marzo del 2025.

Ing. Pablo David Armijos Camacho, portador del documento de **identidad N°1105330672**, poseedor del **NIVEL INTERMEDIO B2-INGLÉS**, certificado **SETEC-CAL-2017-084**

Por medio de la presente tengo bien a **CERTIFICAR:**

Que he realizado la traducción al idioma inglés del resumen derivado del Trabajo de Integración Curricular **“Aprovechamiento del relave minero en la fabricación de durmientes de hormigón en la Planta de Beneficio “Playitas”, sector El Salado, cantón Portovelo, provincia de El Oro**”, de autoría del Sr. Stillman Daniel Chinchay Ortega portador de la cédula de identidad N° 1150211967.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, a su vez autorizo al interesado hacer el uso del presente para los fines que considere pertinentes.



Ing. Pablo David Armijos Camacho

SETEC-CAL-2017-084