

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



TESIS

**EVALUACIÓN DEL AGREGADO DE LA CANTERA MOLLOCO
EN LA PRODUCCIÓN DE SHOTCRETE PARA EL CRUCERO
CX045NE DE LA UNIDAD PRODUCTIVA TAMBOMAYO –
AREQUIPA**

PRESENTADO POR:

Br. PERCY SEQUEIROS ARENAS

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

ASESOR:

DR. MAURO VALDIVIA JORDAN

Cusco – Perú

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada:.....
..... Evaluación del Agregado de la Cantera Molloco en la
..... producción de Shotcrete para el Cruce CX045NE
..... de la Unidad Productiva Tambamayo - Arequipa

presentado por: Perry Sequeiros Arenas..... con DNI Nro.: 74378139..... presentado
por: con DNI Nro.: para optar el
título profesional/grado académico de Ingeniero de Minas.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la**
UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 12 de Febrero..... de 2024.....

Firma

Post firma Dr. Ing. Marco Valdivia Jordán

Nro. de DNI 23833142

ORCID del Asesor 0000-0002-7880-4637

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:330284461

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DEL AGREGADO DE LA CANTERA MOLLOCO EN LA PRODUCCIÓN DE SHOTCRETE PARA EL CRUCERO CX045NE

AUTOR

PERCY SEQUEIROS ARENAS

RECUENTO DE PALABRAS

20245 Words

RECUENTO DE CARACTERES

112123 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

112 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.7MB

FECHA DE ENTREGA

Feb 12, 2024 4:31 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Feb 12, 2024 4:32 PM GMT-5

● 9% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de trabajos entregados
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)
- Material bibliográfico
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis abuelos Alipio y Alejandrina, Miguel y Modesta, a mis padres Silvia Arenas y Percy Sequeiros y a mi hermana Pamela, por ser fuente inagotable de amor, apoyo y comprensión, quienes me han acompañado con paciencia a lo largo de este arduo pero gratificante camino académico.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mi patrón San Jerónimo, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera y por ser mi gran fortaleza en los momentos más difíciles.

Un agradecimiento especial, para mi asesor el Dr. Ing. Mauro Valdivia J. y a mis dictaminantes, Mgt. Ing. Miguel Vera M. y el Ing. Máximo Mayta L. por su orientación profesional y apoyo constante a lo largo de este recorrido académico. Su orientación ayudó a dar forma y mejorar este trabajo.

A Eve, quien ha sido una inspiración constante, por su inquebrantable apoyo emocional y motivacional, por sus palabras de aliento y sabios consejos que fueron mi soporte en los momentos más desafiantes.

Agradezco sinceramente a mis docentes, por su sabiduría, apoyo y profesionalismo y a mi tricentenaria casa de estudios “Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco”, por haber permitido formarme en ella.

Mi profundo agradecimiento a todas las personas que han hecho contribuciones significativas para la realización de esta tesis. Este logro no hubiera sido posible sin el apoyo de todos y cada uno de ustedes. Gracias por ser parte importante de este recorrido académico y por compartir este éxito conmigo.

RESUMEN

El propósito de este estudio fue analizar las cualidades del agregado de la Cantera Molloco para la producción de Shotcrete para el Crucero CX045NE en la Unidad Productiva Tambomayo – Arequipa. La metodología de investigación utilizada fue de alcance descriptivo, evaluativo y correlacional, de diseño experimental y no probabilístico, pues la investigación se basa en el manejo de la cantera Molloco para los proyectos futuros de la Unidad Productiva Tambomayo. Para la evaluación de las características del agregado de la cantera Molloco se utilizaron los siguientes ensayos: Ensayo de material pasante el tamiz #200 (ASTM C117), Ensayo de material gravedad específica y absorción (ASTM C127), Ensayo de material contenido de Humedad (ASTM C566), Ensayo de agregados para el concreto (ASTM C33), Ensayo azul metileno agregado fino (AASHTO TP57-01) y Ensayo de material impurezas orgánicas en el agregado fino (ASTM C 40), determinando que el agregado cumple con los parámetros especificados en cada ensayo. Mientras que, de los resultados obtenidos sobre la granulometría de gradación II de la ACI 506, se observa que cumple con las condiciones de los límites mínimos y máximos de esta. Del diseño de mezcla propuesto, se obtuvieron los siguientes resultados: A los 7, 14 y 28 días de fraguado del shotcrete una resistencia de 333 kg/cm², 409 kg/cm² y 497 kg/cm², respectivamente, logrando así lo requerido con el agregado de la cantera Molloco. De otro lado, el costo estimado de la producción de shotcrete es de S/ 73.054.56, teniendo en cuenta que este costo considera los materiales utilizados de acuerdo al diseño de mezcla para los 120 m del Crucero CX045NE de la U. P. Tambomayo – Arequipa.

Palabras claves: Cantera, Shotcrete, Gradación II – ACI 506, Resistencia a la compresión.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the characteristics of the Molloco Quarry aggregate for the production of Shotcrete for the CX045NE Cruise in the Tambomayo – Arequipa Production Unit. The research methodology used was descriptive, evaluative and correlational in scope, with an experimental and non-probabilistic design, since the research is based on the management of the Molloco quarry for future projects of the Tambomayo Productive Unit. For the evaluation of the characteristics of the aggregate from the Molloco quarry, the following tests were used: Test of material passing the #200 sieve (ASTM C117), Test of material specific gravity and absorption (ASTM C127), Test of material moisture content (ASTM C566), Aggregate Test for Concrete (ASTM C33), Fine Aggregate Methylene Blue Test (AASHTO TP57-01) and Organic Impurity Material Test in Fine Aggregate (ASTM C 40), determining that the aggregate meets the parameters specified in each test. While, from the results obtained on the gradation II granulometry of ACI 506, it is observed that it meets the conditions of its minimum and maximum limits. From the proposed mix design, the following results were obtained: At 7, 14 and 28 days of shotcrete setting, a resistance of 333 kg/cm², 409 kg/cm² and 497 kg/cm², respectively, thus achieving the required with the aggregate from the Molloco quarry. On the other hand, the estimated cost of shotcrete production is S/ 73,054.56, taking into account that this cost considers the materials used according to the mix design for the 120 m of Cruise CX045NE of the U. P. Tambomayo – Arequipa.

Keywords: Quarry, Shotcrete, Gradation II – ACI 506, Compressive strength.

INTRODUCCIÓN

En el estudio se evaluó las características físicas del agregado de la cantera Molloco, para la producción de shotcrete de la Unidad Productiva Tambomayo, en la que los temas abordados fueron organizados de esta forma:

El primer capítulo se centra en desarrollar el planteamiento del problema de investigación, junto con el problema general y los específicos, los objetivos y la justificación. También incluye la hipótesis general y las específicas en función a las variables e indicadores identificados.

El segundo capítulo expone los antecedentes de estudio, que refiere a investigaciones similares a las del presente estudio; de igual modo, se desarrollan las bases teóricas referentes a la evaluación de características físicas de agregados, así como el estudio de la granulometría de la gradación II de ACI 506.

El tercer capítulo describe la metodología de la investigación, dentro de ello el tipo y nivel de investigación, población y muestra, y las técnicas e instrumentos utilizados.

El cuarto capítulo describe la ubicación de la cantera, así como los ensayos realizados al agregado de la cantera Molloco, entre ellos la determinación de granulometría según la gradación II del ACI 506, de igual modo se plantea el diseño de mezcla para el hormigón proyectado con el agregado de la cantera Molloco.

El quinto capítulo determina el costo estimado de la producción del shotcrete con el agregado de la cantera Molloco y se presentan los resultados de laboratorio sobre la resistencia a la compresión después de 7, 14 y 28 días realizados en la empresa ROBOCON. Así como, la discusión de los resultados.

Por último, de acuerdo con los objetivos e hipótesis planteados en la investigación, se formulan las conclusiones y recomendaciones.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xvi
I. CAPÍTULO I	17
1. Planteamiento del problema de investigación.....	17
1.1. Descripción del problema	17
1.2. Formulación del problema	18
1.2.1. Problema general	18
1.2.2. Problemas específicos.....	18
1.3. Objetivos de la Investigación.....	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Justificación de la Investigación	19
1.4.1. Justificación teórica	19
1.5. Hipótesis de la Investigación	20
1.5.1. Hipótesis general	20
1.5.2. Hipótesis específicas.....	20
1.6. Variables e Indicadores	20
1.6.1. Variables	20
1.6.2. Operacionalización de Variables.....	20

II. CAPÍTULO II.....	22
2. Marco Teórico de la Investigación.....	22
2.1. Antecedentes.....	22
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	22
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	23
2.2. Bases Teóricas.....	24
2.2.1. Ensayos de características físicas del agregado.....	24
2.2.2. Shotcrete.....	32
2.2.3. Diseño de mezcla.....	45
2.2.4. Rebote.....	48
2.3. Definiciones de Términos Básicos.....	49
III. CAPÍTULO III.....	51
3. Metodología de la Investigación.....	51
3.1. Tipo y Nivel de Investigación.....	51
3.1.1. Tipo de Investigación.....	51
3.1.2. Nivel de Investigación.....	51
3.2. Población y Muestra.....	51
3.2.1. Población.....	51
3.2.2. Muestra.....	51
3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	52
3.3.1. Técnicas de Recolección de Datos.....	52
3.3.2. Instrumentos de recolección de datos:.....	52
3.3.3. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	52
IV. CAPÍTULO IV.....	53
4. Evaluación y Procesamiento de Datos.....	53

4.1.	Ubicación de la Cantera Molloco	53
4.2.	Determinación de Características Físicas del Agregado de la Cantera Molloco ..	54
4.2.1.	Ensayo de material pasante el tamiz #200 – ASTM C 117	56
4.2.2.	Ensayo de material gravedad específica y absorción - ASTM C 127	56
4.2.3.	Ensayo de material contenido de humedad - ASTM C 566	57
4.2.4.	Ensayo de agregados para el concreto - ASTM C 33	57
4.2.5.	Ensayo azul metileno agregado fino. - AASHTO TP57-01	58
4.2.6.	Ensayo de material impurezas orgánicas en el agregado fino. - ASTM C 40 .	59
4.2.7.	Determinación de granulometría – ACI -506	60
4.3.	Determinación de Diseño de Mezcla del Shotcrete con Agregado de Molloco ...	61
4.3.1.	Materiales que se usan en el diseño de mezcla.....	62
4.3.2.	Dosificación del diseño de mezcla	64
4.3.3.	Resultados finales del diseño de mezcla.....	71
V.	CAPÍTULO V	72
5.	Análisis e Interpretación de Resultados.....	72
5.1.	Características del Crucero CX 045 NE	72
5.1.1.	Longitud del crucero CX 045 NE proyectado.....	72
5.1.2.	Sección del crucero CX 045 NE proyectado.....	72
5.1.3.	Determinación del sostenimiento según RMR. Bieniawski	73
5.1.4.	Mapeo geomecánico del proyecto del crucero CX 045 NE	75
5.2.	Resultados de Diseño de Mezcla	76
5.3.	Resultados de la Resistencia a la compresión.....	76
5.3.1.	Pruebas de resistencia a los 7 días de lanzado el shotcrete	77
5.3.2.	Pruebas de resistencia a los 14 días de lanzado el shotcrete	78
5.3.3.	Pruebas de resistencia a los 28 días de lanzado el shotcrete	79

5.3.4.	Resultados de las pruebas de la resistencia a la compresión	80
5.3.5.	Interpretación de la estabilidad en la excavación del crucero CX 045 NE	81
5.4.	Determinación del Costo de Sostenimiento con Shotcrete (con agregado de la cantera Molloco)	83
5.4.1.	Cálculo del perímetro de la sección del crucero CX045NE	83
5.4.2.	Determinación del Volumen de shotcrete	85
5.4.3.	Determinación del costo de la producción del shotcrete requerido.....	86
6.	Discusión de Resultados	87
6.1.	En función a la granulometría del Agregado de la Cantera Molloco.....	87
6.2.	En función de la Resistencia Obtenida del Shotcrete con el Agregado Molloco..	88
CONCLUSIONES		90
RECOMENDACIONES.....		91
BIBLIOGRAFÍA		92
ANEXOS		94
7.	ANEXO 01. Descripción de la Mina	94
7.1.	Generalidades de la Mina.....	94
7.2.	Ubicación y Accesos	95
7.2.1.	Ubicación.....	95
7.2.2.	Accesos	96
7.3.	Geología.....	97
7.3.1.	Geología Regional	97
7.3.2.	Geología local.....	98
7.3.3.	Geología Estructural	99
7.3.4.	Geología Económica.....	100
7.4.	Método de minado de la Unidad Productiva de Tambomayo.....	103
7.5.	Reservas y Producción	107

7.5.1. Reservas.....	107
7.5.2. Producción.....	107
8. ANEXO 02: Formato para Reporte de Resultados de Rotura de Testigos o Probetas	109
9. ANEXO 03: Tabla de Resultados de Rotura de Briquetas.....	110
10. ANEXO 04: Matriz de Consistencia.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de Variables</i>	21
Tabla 2 <i>Granulometría para agregado fino</i>	29
Tabla 3 <i>Granulometría para agregado grueso</i>	30
Tabla 4 <i>Valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla</i>	31
Tabla 5 <i>Resistencias recomendadas por aplicación</i>	36
Tabla 6 <i>Límites de granulometría para agregados combinados</i>	40
Tabla 7 <i>Relaciones cemento/agregados para diferentes resistencias y usos</i>	47
Tabla 8 <i>Resistencia a la rotura $f'c$ y relación agua cemento a/c</i>	48
Tabla 9 <i>Lista de ensayos que se realizan al agregado de cantera</i>	55
Tabla 10 <i>Resultados del ensayo ASTM - 117, tamiz #200</i>	56
Tabla 11 <i>Resultados del ensayo gravedad específica y absorción - ASTM C 127</i>	57
Tabla 12 <i>Resultados del ensayo contenido de Humedad - ASTM C 566</i>	57
Tabla 13 <i>Resultados del ensayo módulo de fineza</i>	58
Tabla 14 <i>Resultados del azul metileno agregado fino - AASHTO TP57-01</i>	58
Tabla 15 <i>Resultados del ensayo impurezas orgánicas en el agregado fino - ASTM C 40</i>	59
Tabla 16 <i>Ensayo de granulometría en base a la gradación II de ACI - 506</i>	60
Tabla 17 <i>Cantidad de materiales para diseño de mezcla</i>	64
Tabla 18 <i>Ensayo Ajuga Vicat ASTM C- 191 Yura Tipo HE vs Wari Tipo 1 al 8%</i>	66
Tabla 19 <i>Ensayo Ajuga Vicat ASTM C- 191 Yura Tipo HE vs Wari Tipo 1 al 9%</i>	67
Tabla 20 <i>Resultados de resistencias tempranas con Pistola Hilti</i>	68
Tabla 21 <i>Diseño de mezcla final</i>	71
Tabla 22 <i>Cuadro para la determinación del sostenimiento según RMR</i>	74

Tabla 23 <i>Mapeo Geomecánico del crucero CX 045 NE</i>	75
Tabla 24 <i>Dosificación final para Shotcrete</i>	76
Tabla 25 <i>Resistencias del shotcrete a los 7 días</i>	77
Tabla 26 <i>Resistencias del shotcrete a los 14 días</i>	78
Tabla 27 <i>Resistencias del shotcrete a los 28 días</i>	79
Tabla 28 <i>Costo unitario del concreto según el diseño de mezcla</i>	86
Tabla 29 <i>Resultados de granulometría vs gradación II ACI 506</i>	87
Tabla 30 <i>Coordenadas de ubicación de la Unidad Minera Tambomayo</i>	96
Tabla 31 <i>Consideraciones técnicas para el diseño del método de explotación</i>	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tamiz #200.....	25
Figura 2 Lavado del material - agregado	26
Figura 3 Shotcrete vía seca	33
Figura 4 Shotcrete vía húmeda	34
Figura 5 Fibra metálica Maccaferri	44
Figura 6 Fibra sintética Myphor.....	45
Figura 7 Ubicación de la cantera Molloco	53
Figura 8 Fotografía de la Cateria Molloco	54
Figura 9 Muestra del agregado de la cantera Molloco	55
Figura 10 Lavado de agregado de cantera Molloco.....	56
Figura 11 Ensayo comparación con el colorímetro ASTM C40	59
Figura 12 Curva granulométrica de la cantera Molloco con límites de la gradación II – ACI 506.	61
Figura 13 Cemento tipo HE - Yura	62
Figura 14 Fibra plástica Myphor.....	63
Figura 15 Contenido de aire y rendimiento de la mezcla	65
Figura 16 Ensayo de Slump	66
Figura 17 Ensayo de Ajuga Vicat ASTM C- 191	67
Figura 18 Prueba de la pistola Hilti	68
Figura 19 Curva J de la evolución de las resistencias tempranas.....	69
Figura 20 Medición de temperatura inicial del Shotcrete	70
Figura 21 Medición de la temperatura del shotcrete con acelerante	71

Figura 22 <i>Longitud de crucero CX 045 NE proyectado</i>	72
Figura 23 <i>Sección típica del Crucero 045 NE proyectado</i>	73
Figura 24 <i>Resistencias por días de fraguado</i>	80
Figura 25 <i>Modelamiento de la excavación sin sostenimiento</i>	81
Figura 26 <i>Modelamiento de la excavación con sostenimiento</i>	82
Figura 27 <i>Modelamiento en 3D de la excavación con sostenimiento</i>	83
Figura 28 <i>Curva granulométrica de la cantera Molloco en gradación II – ACI 506</i>	88
Figura 29 <i>Curva de resistencias - Acuña H. (2011)</i>	89
Figura 30 <i>Resistencias por días de fraguado</i>	89
Figura 31 <i>Ubicación Geográfica del Unidad Minera Tambomayo</i>	95
Figura 32 <i>Geología de la Unidad Minera Tambomayo</i>	99
Figura 33 <i>Litoestratigrafía de la veta de la U.M.Tambomayo</i>	100
Figura 34 <i>Mineralogía de la Unidad Minera Tambomayo</i>	103
Figura 35 <i>Construcción de las labores de preparación</i>	104
Figura 36 <i>Esquema de labores de preparación</i>	105
Figura 37 <i>Reservas y recursos de la Unidad Minera Tambomayo</i>	107
Figura 38 <i>Producción de mineral y ley de cabeza</i>	108
Figura 39 <i>Producción anual</i>	108

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ASTM	: American Society for Testing and Materials.
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ACI	: American Concrete Institute.
UNE	: Asociación Española de Normalización.
EFNARC	: European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete.
NTP	: Norma Técnica Peruana.
RMR	: Rock Mass Rating.
RQD	: Rock Quality Designation.
A/C	: Relación agua / cemento.
A/A	: Relación agua / agregado.
F'c	: Resistencia a la compresión.
UTM	: Universal Transverse Mercator.
Yura HE	: Cemento industrial de Ultra Resistencia Inicial.
U. M.	: Unidad Minera.
U. P	: Unidad Productiva
U. S.	: United States.

CAPÍTULO I

1. Planteamiento del problema de investigación

1.1. Descripción del problema

El material lanzado de manera controlada sobre una superficie para formar estructuras o revestimientos (shotcrete) es utilizado en todo el mundo, especialmente en obras de tunelería y proyectos subterráneos, debido a que en un periodo de tiempo corto obtiene una gran capacidad de soporte y alta resistencia. El fraguado rápido del concreto proyectado, la inclusión de acelerantes y la dosificación adecuada en el diseño de mezcla contribuyen a lograr estas propiedades.

El shotcrete se viene utilizando en la minería peruana, tanto para las operaciones subterráneas como para las operaciones superficiales, abarcando un mayor uso en la minería subterránea, siendo así que la Compañía Minera Buenaventura hace uso del shotcrete como elemento de sostenimiento de sus unidades productivas, como es el caso de la Unidad Productiva Tambomayo.

El área de Geomecánica de la Unidad Productiva Tambomayo viene realizando los estudios y mapeos geomecánicos, para así sugerir el tipo de sostenimiento adecuado en cada zona de la unidad. Por tal motivo, dicha área recomienda como sostenimiento el uso de shotcrete para el Crucero CX045NE, debido a que esta zona obtuvo una valoración de 57 (descripción IIIA regular A), según el Rock Mass Rating (Clasificación del macizo rocoso).

En la producción de shotcrete es de importancia la calidad del agregado a utilizar, debido a que este material ocupa un mayor volumen para el diseño de mezcla, influyendo principalmente en su resistencia; no obstante, la Unidad Productiva Tambomayo presenta complicaciones en la

calidad de su concreto proyectado, razón por la cual la presente investigación evalúa las características del agregado de la cantera Molloco en la producción de shotcrete para el crucero CX045NE de la Unidad Productiva Tambomayo - Arequipa.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son las características del agregado de la Cantera Molloco en la producción de shotcrete para el Crucero CX045NE en la Unidad Productiva Tambomayo – Arequipa?

1.2.2. Problemas específicos

P.E.1. ¿Cuál es el diseño de mezcla con el agregado de la cantera Molloco para la producción de shotcrete para el Crucero CX045NE?

P.E.2. ¿Cuáles son las resistencias del shotcrete con el agregado de la cantera Molloco?

P.E.3. ¿Cuál es el costo de aplicación del shotcrete con el agregado de la cantera Molloco para el Crucero CX045NE?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar las características del agregado de la Cantera Molloco en la producción de shotcrete para el Crucero CX045NE en la Unidad Productiva Tambomayo – Arequipa.

1.3.2. Objetivos específicos

O.E.1. Determinar el diseño de mezcla con el agregado de la cantera Molloco para la producción del shotcrete para el Crucero CX045NE.

O.E.2. Determinar las resistencias del shotcrete con el agregado de la Cantera Molloco.

O.E.3. Determinar el costo de la aplicación del shotcrete con el agregado de la Cantera Molloco para el Crucero CX045NE.

1.4. Justificación de la Investigación

1.4.1. Justificación teórica

Tanto las empresas mineras como las de servicios necesitan información suficiente sobre la utilización de sus materiales para la producción de shotcrete, en especial el agregado que es un material que se utiliza en gran volumen. Por consiguiente, el propósito primordial del estudio es evaluar el agregado de la cantera Molloco en la producción de shotcrete para el crucero CX045NE de la Unidad Productiva Tambomayo, en los laboratorios de la empresa contratista ROBOCON S.A.C.

El shotcrete es un material utilizado en la minería subterránea como elemento de sostenimiento dado que logra elevados niveles de resistencia en un menor periodo de fraguado. La utilización de agregados de alta calidad es un determinante para garantizar la resistencia y vida útil del shotcrete, lo que proporciona una justificación válida para realizar esta investigación.

La evaluación de la producción de shotcrete con agregados de la cantera Molloco es relevante para la Empresa Minera Buenaventura debido a que busca mejorar la eficiencia y la calidad del sostenimiento en su Unidad Productiva Tambomayo. La evaluación del agregado en la producción de shotcrete permite determinar una adecuada dosificación de los componentes para obtener las resistencias óptimas del shotcrete, lo que a su vez contribuirá en aumentar la eficiencia y reducir costos en el mecanismo de producción.

Además, el estudio tiene una relevancia científica, ya que permite comprender cómo se comporta el shotcrete con diferentes tipos de agregados en ámbito de la minería subterránea. Los resultados obtenidos serán útiles para otros proyectos mineros que busquen mejorar la producción de shotcrete utilizando agregados de canteras cercanas. En resumen, la investigación es relevante

tanto para la Empresa Minera Buenaventura como para la comunidad científica interesada en la geomecánica y la minería subterránea.

1.5. Hipótesis de la Investigación

1.5.1. Hipótesis general

Las características del agregado de la cantera Molloco en la producción de Shotcrete para el Crucero CX045NE de la Unidad Productiva Tambomayo – Arequipa, se encuentran dentro de los parámetros de la norma.

1.5.2. Hipótesis específicas

H.E.1. El diseño de mezcla es el adecuado con el agregado de la cantera Molloco en la producción de shotcrete para el Crucero CX045NE.

H.E.2. Las resistencias del shotcrete con el agregado de la cantera Molloco cumplen con lo requerido por el departamento de geomecánica de la Unidad Productiva Tambomayo.

H.E.3. Es viable el costo de aplicación del shotcrete con el agregado de la Cantera Molloco para el Crucero CX045NE.

1.6. Variables e Indicadores

1.6.1. Variables

1.6.1.1. Variables Independientes (X).

- Agregado de la Cantera Molloco.

1.6.1.2. Variables Dependientes (Y).

- Producción de Shotcrete para el crucero CX045NE en la Unidad Productiva Tambomayo

1.6.2. Operacionalización de Variables

Tabla 1*Operacionalización de Variables*

	Variable	Dimensiones	Indicadores	Medida
DEPENDIENTE	Producción de Shotcrete para el crucero CX045NE en la Unidad Productiva Tambomayo.	Volumen de Shotcrete	Rebote	%
			Volumen de Shotcrete	m ³
			Costo de aplicación	\$, S/.
INDEPENDIENTE	Agregado de la Cantera Molloco.	Diseño de mezcla	Geomecánica	RMR, RQD
			Resistencia	MPa
			Áridos	Granulometría

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO II

2. Marco Teórico de la Investigación

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Martínez Vargas (2011), en su tesis titulada “Análisis del Concreto Lanzado Como Revestimiento Definitivo Para Túneles” de la Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá, Colombia, su objetivo fue analizar las ventajas del hormigón proyectado como revestimiento final de túneles frente al uso de hormigón convencional; identificar criterios para la selección de diferentes tipos de revestimientos de hormigón para túneles y determinar las ventajas técnicas y económicas del hormigón proyectado como revestimiento final de hormigón proyectado en túneles. De esta forma el autor llegó a la conclusión que, un análisis empírico en túneles de carretera ha demostrado que el hormigón proyectado con fibras puede conseguir recubrimientos de entre 5 y 15 cm de espesor, mientras que el hormigón convencional requiere espesores superiores a los 30 cm esto se traduce en menos concreto, menos material de excavación, menos tiempo de construcción del revestimiento y mayor eficiencia de los equipos. Por otro lado, se ha observado que el uso de aditivos en combinación con materiales sintéticos fibrosos aumenta la resistencia del hormigón proyectado hasta en un 21%, y según datos experimentales y revisión de la literatura a mayor cantidad de fibra mayor es la capacidad de absorción de energía y carga admisible, al igual que la resistencia del hormigón con 5 kg/m³ y 6 kg/m³ aumenta de 584 y 619 Jolues a 801 y 892 Jolues. Sin embargo, cada tipo de fibra tiene algunas limitaciones, dependiendo de las recomendaciones técnicas del fabricante.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Tapia Choquehuanca (2017), en su estudio “Diseño y aplicación del shotcrete vía húmeda como elemento de sostenimiento en labores mineras – INPECON SAC – Mina Chipmo CIA Minera Buenaventura Unidad Orcopampa” de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa – Perú. En su investigación realizó el cambio en el diseño de mezcla de concreto proyectado mediante aplicación en estado fresco, utilizado como soporte de las actividades subterráneas en la Unidad Minera Orcopampa, este análisis se basó en el diseño de día mezcla de concreto proyectado mediante aplicación en estado fresco el cual debía llegar a una resistencia mayor a 210 kg/cm^2 con la disminución de bolsas de cemento de 10 a 9 bolsas, luego de haber realizado su diseño y pruebas de laboratorio procedió a la rotura de briquetas es así que a los 28 días logró una capacidad de soportar fuerzas de compresión de 223.06 kg/cm^2 cumpliendo con lo solicitado, por otro lado cabe indicar que dentro de su análisis el autor determina que con la disminución de una bolsa de cemento se tiene un ahorro promedio de S/ 3.68 por m^2 permitiendo así un ahorro para la empresa.

Huamani Curasma (2020), en su tesis titulada “La granulometría del agregado proyectada con el equipo Ocmer y su influencia en el efecto rebote en el lanzado de shotcrete vía seca para labores permanentes, MARSA – Trujillo 2020” de la Universidad Nacional del Centro del Perú – Huancayo, Perú. En su investigación determinó el efecto de la granulometría de los agregados usados en el shotcrete proyectado por el equipo Ocmer con relación al rebote generado al momento de ser lanzado el concreto proyectado en seco utilizado en las estructuras duraderas de la Minera Aurífera Retamas – MARSA – Trujillo. El autor luego de los ensayos realizados indica que analizando la tendencia de los agregados gruesos muestra que estos no brindan un adecuado proceso de sostenimiento debido a que provoca constantes atascamientos y desgaste de los componentes del equipo encargado del lanzado, de la misma forma al tener alta concentración de

arena fina esta da como resultado una menor trabajabilidad provocando problemas al momento del bombeo con el equipo Ocmer, así también corrobora que existe problemas con el acelerante y la mezcla del shotcrete vía seca. Por ende, para obtener una buena trabajabilidad, adhesión y alta resistencia es necesario que el agregado tenga la granulometría adecuada.

Acuña Holguin (2023), en su tesis titulada “Implementación de la fibra sintética en el shotcrete en el sostenimiento de la rampa 565 del nivel 23, en la CIA. Minera Alpayana Casapalca - Lima” de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú. En su investigación implementa las fibras sintéticas en el diseño de mezcla para el shotcrete que será usado como sostenimiento de la rampa principal 565 en el nivel 23 de la Compañía Minera Alpayana, para lo cual realiza ensayos físicos del agregado y controles de calidad en el shotcrete apoyándose en las normas ASTM, UNE, ACI y EFNARC, de este diseño de mezcla el autor obtiene briquetas y muestras de las cuales procede a realizar ensayos de compresión obteniendo resultados en resistencias a edades tempranas de 0.97 Mpa a la hora, 2.10 Mpa en dos horas es así, que a los 28 días el shotcrete con fibra sintética alcanza una resistencia a la compresión de 33.8 Mpa con un rebote de 6.82%. Concluyendo así, que el shotcrete con fibra sintética es un adecuado sostenimiento para la rampa principal 565 de la Compañía minera Alpayana.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Ensayos de características físicas del agregado

2.2.1.1. Material pasante por el tamiz #200 – ASTM C 117-95

American Society for Testing and Materials (1995), el ensayo ASTM C 117 determina el volumen de las partículas finas que se alojan en el tamiz de 75 μm (No. 200) por el método de lavado. Las arcillas y otras partículas dispersadas por lavado con el agua, como los materiales solubles al agua, se eliminan del agregado en la prueba.

Se puede realizar dos procesos: el primer proceso utiliza sólo agua para lavar y el siguiente proceso utiliza un elemento como líquido para contribuir a soltar las partículas de menor tamaño en comparación con el tamiz de 75 μm (No. 200) del material grueso. A excepción que se indique lo contrario, debe emplearse el proceder A (únicamente agua).

En resumen, el ensayo consta en lavar la muestra con agua limpia o solución humectante designada según sea el procedimiento elegido. El baño de agua que contenía los materiales suspendidos y disueltos se pasará por el tamiz de 75 μm (No. 200). La disminución de masa del procedimiento de limpieza se calculará el índice de la masa de muestra inicial y se dará cuenta como fracción de la sustancia más pequeña que un tamiz de 75 μm (No. 200) por lavado.

Figura 1

Tamiz #200



Nota. Elaboración propia

Figura 2

Lavado del material - agregado



Nota. Elaboración propia

2.2.1.2. Gravedad específica y absorción - ASTM C 127

Para la American Society for Testing and Materials (2015) Este procedimiento de evaluación determina la densidad media de grava gruesa (excluyendo el volumen de vacío entre partículas), su capacidad relativa o peso específico, y la absorción en m^3/ft^3 de material pétreo de gran tamaño. Según el método utilizado, la densidad en $kg/(lb)$ puede expresarse como deshidratada al horno (SH), empapada y superficialmente desecada (SSS), o como densidad evidente. En todos los casos, la intensidad proporcional (gravedad específica) es una medida sin dimensiones que se muestra como SH, SSS o como intensidad proporcional aparente (gravedad específica aparente). La intensidad SH y la intensidad proporcional SH se calculan después del secado del agregado. La intensidad SSS, la intensidad proporcional SSS y la absorción se establecen después de la inmersión del agregado en agua durante un tiempo predefinido.

Un ejemplar de material pétreo se sumerge en agua durante aproximadamente 24 ± 4 horas para llenar en su totalidad los huecos. Posteriormente, se retira la muestra del agua, se elimina la humedad de la superficie de las partículas y se establece su peso; a continuación, se mide el volumen del material mediante el procedimiento de traslado de líquido. Por último, la muestra se deshidrata en el horno y se establece su peso. Con base en los valores conseguidos y las ecuaciones empleadas en esta evaluación, es factible calcular la densidad, la intensidad proporcional (peso específico) y la capacidad de captación.

La proporción de masa de un material pétreo en relación con el peso de un espacio de agua equivalente a la magnitud de los fragmentos de ese material, de igual manera conocido como volumen total del material pétreo, representa la densidad relativa (peso específico). Además, se puede describir como la conexión entre la densidad de las partículas del material pétreo y la intensidad del agua.

La gravedad específica relativo se emplea para determinar el espacio ocupado por el material pétreo en diferentes combinaciones que incluyen materiales pétreos, como el asfalto, el hormigón hidráulico y otras mezclas cuyas proporciones se establecen o se examinan en función del volumen total.

Los datos de capacidad de absorción se emplean para determinar la variación en la cantidad de agua absorbida en los huecos internos del material pétreo, en comparación con su estado seco, después de un período en el cual se estima que el material pétreo estuvo en comunicación con el agua el período adecuado para alcanzar su capacidad máxima de absorción.

2.2.1.3. Contenido de Humedad - ASTM C 566

Para la American Society for Testing and Materials (1997), Esta técnica se emplea para calcular el índice de humedad volátil en una muestra de materiales pétreos, utilizando el método

de desecación, para eliminar tanto la humedad superficial como la contenida en los huecos de los materiales pétreos. Algunos materiales pétreos pueden contener agua que está unida químicamente a los minerales. Esta agua no es volátil y no se considera en el porcentaje determinado por este procedimiento de evaluación.

Este procedimiento de evaluación ofrece una precisión adecuada para los objetivos habituales, como ajustar las proporciones de los ingredientes en el hormigón. En términos generales, esta prueba determina la humedad en una muestra de manera más fiable que una muestra que podría representar a una fuente de materiales pétreos. Cuando los propios materiales pétreos son modificados por el calor, o cuando se necesitan mediciones más detalladas, se recomienda realizar el ensayo utilizando un horno con circulación de aire y temperatura supervisada.

Los elementos de mayor tamaño de los materiales pétreos gruesos, en particular aquellos que superan los 50 mm (2 pulgadas), necesitan un período más prolongado para que la humedad se desplace desde el interior hacia la superficie de la partícula. Quienes empleen esta técnica de evaluación deben evaluar mediante pruebas si los procedimientos de secado rápido ofrecen la exactitud necesaria para el propósito previsto al deshidratar los elementos más grandes.

2.2.1.4. Agregados para el concreto - ASTM C 33

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (2003), Esta normativa establece los criterios de tamaño de partículas y la excelencia de los materiales pétreos finos y gruesos (diferente de los materiales pétreos ligeros o pesados) destinados a ser utilizados en el hormigón.

- Material Pétreo Menudo. - El material pétreo menudo estará compuesto por arena natural, arena fabricada o una mezcla de ambas, la cual debe estar clasificada en los siguientes rangos:

Tabla 2*Granulometría para agregado fino*

Tamiz (Especificación E 11)	Porcentaje Pasando (%)
9.5 mm (3/8 in)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 μm (No. 30)	25 a 60
300 μm (No. 50)	5 a 30
150 μm (No. 100)	0 a 10

Nota. Adaptado de ASTM C 33.

Dicha granulometría debe cumplir todo agregado fino a excepción de: El agregado fino no debe exceder el 45% de paso a través de algún tamiz ni ser retenido en él, y su índice de finura debe oscilar entre 2.3 y 3.1. Si el material pétreo menudo no cumple con estos criterios granulométricos, debe satisfacer los estándares de esta sección siempre que el proveedor demuestre al comprador o al especificador que el hormigón de la clase especificada, elaborado con el material pétreo menudo en cuestión, exhibirá propiedades relevantes o al menos similares a las del hormigón elaborado con los mismos componentes, excepto por el tipo de material pétreo menudo. Este debe ser seleccionado de una fuente que tenga un historial de rendimiento satisfactorio en un contexto de edificación parecido.

- Material Pétreo Grueso. - El material pétreo grueso estará compuesto principalmente por piedra, grava machacada, roca machacada, escoria de horno alto enfriada al aire, o hormigón de cemento hidráulico triturado, o una combinación de ellos, de acuerdo con los criterios establecidos en esta normativa. Este debe estar clasificado en los siguientes rangos:

Tabla 3

Granulometría para agregado grueso

Número De Tamaño	Tamaño Nominal (Tamices con abertura cuadrada)	Cantidades más finas que Cada Tamiz de Laboratorio (Abertura Cuadrada), Porcentaje Masa												
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1½ pulg)	25 mm (1 pulg)	19 mm (¾ pulg)	12.5 mm (½ pulg)	9.5 mm (⅜ pulg)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
1	90 a 37.5 mm	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
2	63 a 37.5 mm	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
3	50 a 25 mm	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	50 a 4.75 mm	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	37.5 a 19 mm	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...
467	37.5 a 4.75 mm	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	25 a 12.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	25 a 9.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	19 a 9.5 mm	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...
67	19 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	12.5 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	9.5 a 2.36 mm	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 5	0 a 5

Nota. Fuente ASTM C 33.

2.2.1.5. Ensayo azul metileno agregado fino. - AASHTO TP57-01

Este estándar describe el método para calcular la cantidad de sustancias potencialmente perjudiciales (que incluyen arcilla y materia orgánica) presentes en la porción pequeña de un material pétreo mediante la medición del Índice de Azul de Metileno.

El Instituto Nacional de Vías (2007), El Índice de Azul de Metileno establecido mediante este estándar puede utilizarse para calcular la proporción de arcillas perjudiciales y materia orgánica en un material pétreo. Un valor destacado señala la presencia considerable de arcillas o materia orgánica en la muestra.

La disolución de Azul de Metileno se titula gradualmente en un recipiente que contiene agua purificada, junto con la porción pequeña de material retenida por el tamiz de 75 mm (No 200).

Tras cada aumento, se extrae una porción mínima del agua con el material, utilizando una barra de agitación de vidrio, y se deja descender como gota encima de un filtro de papel. Al momento que el material pétreo ya no puede absorber más Azul de Metileno, se forma un círculo azul en el filtro de papel. En ese instante se continúa a medir la medida de disolución de Azul de Metileno agregada y a determinar el valor de Azul de Metileno (mg/g, miligramos de Azul por gramo) de material), este ensayo tiene como norma referencial al AASHTOTP 57-01 (2004)

Tabla 4

Valor de azul de metileno y el comportamiento esperado de la mezcla

Valor de Azul Metileno (mg/g)	Desempeño anticipado
≤ 6	Excelente
7-12	Marginalmente aceptable
13-19	Problemas / Posible falla
≥ 20	Fallado

Nota. Adaptado de AASHTO TP57-01.

2.2.1.6. Impurezas orgánicas en el agregado fino. - ASTM C 40

La American Society for Testing and Materials (2011), indica que este procedimiento de evaluación comprende dos métodos para una estimación general sobre la existencia de sustancias orgánicas perjudiciales en materiales pétreos menudos destinados a ser empleados en cemento hidráulico, mortero o hormigón. Un método involucra el uso de una solución de color de referencia, mientras que el otro utiliza vidrio coloreado de referencia.

Este procedimiento de evaluación se emplea para llevar a cabo una evaluación inicial de la idoneidad de los materiales pétreos menudos con respecto a los criterios establecidos en la Especificación C33 en relación con las sustancias orgánicas indeseables.

La utilidad principal de este procedimiento de evaluación radica en alertar sobre cantidades problemáticas que las sustancias orgánicas pueden representar. Cuando una muestra se somete a estos métodos de evaluación, exhibe un tono más intenso que el tono de referencia, por lo tanto, se recomienda realizar esta evaluación para comprender el impacto de las sustancias orgánicas en la resistencia de un mortero, de acuerdo con el Método de Evaluación C87.

2.2.2. Shotcrete

El Shotcrete viene a ser el hormigón colocado mediante la proyección de un equipo neumático a alta velocidad desde la boquilla del equipo, existen dos tipos de aplicación Shotcrete vía seca y Shotcrete vía húmeda:

2.2.2.1. Vía seca.

Para el Instituto del Cemento y Homigón de Chile (2015); Es la técnica en la que el cemento y agregados se procesan por lotes y se mezclan mecánicamente. El artefacto es llevado por vía de aire a través de conductos o cañerías hasta una boquilla donde se agrega agua para humedecer la combinación antes de su proyección. Esta mezcla de hormigón proyectado también puede contener complementos o filamentos o una mezcla de ambos.

Figura 3

Shotcrete vía seca



Nota. Adaptado del Instituto del cemento y del hormigón de Chile (2015).

2.2.2.2. Vía húmeda.

Para el Instituto del Cemento y Homigon de Chile (2015); Es la técnica en la que el cemento, áridos y el agua se procesan por lotes y se mezclan juntos en una planta de hormigón o equipo móvil de mezclado, para luego transportarlos y finalmente vaciarlos en una bomba. Desde esta ubicación, la combinación se mueve mediante un tubo a una tobera donde se aplica de forma neumática sobre la base. Se introduce aire a presión en el flujo de material en la tobera para lanzar el material hacia la base. Antes de llegar a la tobera, a este hormigón proyectado se añaden complementos aceleradores y también se pueden agregar filamentos durante el proceso de mezcla.

Figura 4

Shotcrete vía húmeda



Nota. Adaptado del Instituto del cemento y del hormigón de Chile (2015)

2.2.2.3. Propiedades del shotcrete

Según Instituto del Cemento y Homigon de Chile (2015), Algunos de los atributos más cruciales para evaluar la actuación o la excelencia del concreto proyectado son los que se enumeran a continuación:

- **Docilidad:** La maleabilidad se evalúa a través de la prueba de caída del cono y se refiere bajada del hormigón en condición moldeable, el cual se ha situado en un cono metálico estandarizado y, tras llenar, compactar y elevar verticalmente el cono de metal conforme a las pautas adecuadas de ASTM C143. La maleabilidad es una medida que en la aplicación habitual del concreto se emplea como una estimación aproximada del manejo. Para el concreto rociado, este factor no debería considerarse como un marcador de la habilidad de

impulsión o de proyección de una fusión. La caída de una fusión es inicialmente una señal de la consistencia en las medidas de la combinación entre lotes o entregas.

- **Densidad:** La compacidad (cantidad de materia por unidad de espacio) es un criterio de evaluación de la excelencia del concreto lanzado, su compacidad habitualmente oscila entre 2.200 y 2.400 kg/m³. Aun así, la compacidad no constituye una señal precisa del grado de compresión a menos que se cuente con información previa sobre un diseño de mezcla particular.
- **Resistencia a la compresión:** La fuerza de presión representa la capacidad de un elemento para resistir una fuerza axial de abatimiento. La fuerza de compresión sin restricciones del concreto endurecido es uno de los diversos aspectos que evalúan la excelencia del concreto. Este nivel de fuerza se debe considerar como un indicativo de la capacidad de la mezcla para soportar compresión una vez que ha fraguado, y puede interpretarse como una aproximación de otras características mecánicas de la mezcla. La resistencia a la compresión está conectada de forma indirecta con otras cualidades, como el grado de compresión, la resistencia, la permeabilidad y la durabilidad, por lo tanto, no debe ser considerada como la única referencia de la calidad del concreto.

La solidez del concreto se ve fuertemente influenciada por la proporción de agua y cemento. En el caso del concreto proyectado por vía húmeda, esta relación generalmente varía de 0.4 para aplicaciones civiles y subterráneas, hasta 0.65 para piscinas. Se pueden alcanzar valores cercanos a 0.35 mediante la incorporación de reductores de agua de alta eficacia. En el concreto proyectado en seco, la relación agua/cemento suele situarse entre 0.3 y 0.5, aunque esta cifra puede fluctuar considerablemente debido a la dificultad de controlar el agua por parte del operario. Para hormigón proyectado de mezcla húmeda, la

resistencia a la compresión (sin acelerador) puede oscilar entre 20 y 70 MPa a los 28 días. Los proyectos de infraestructura normalmente especifican una resistencia mínima sobre 30 MPa a los 28 días (ver en la tabla siguiente las resistencias típicas en diversas aplicaciones, recomendadas por la American Shotcrete Association de Australia).

Tabla 5

Resistencias recomendadas por aplicación

Aplicación	Resistencias
Piscinas	25 – 30 MPa
Subterráneos y bodegas	30 – 40 MPa
Revestimiento de túneles	30 – 50 MPa

Nota. Estas resistencias son medidas en briquetas cilíndricas a los 28 días. Adaptado de American Shotcrete Association de Australia.

- **Resistencia temprana:** El concreto proyectado utilizado para el refuerzo de rocas o suelos, especialmente en túneles, debe demostrar una resistencia mínima en las primeras etapas, a menudo en las primeras horas tras su aplicación. La resistencia en edades tempranas implica la capacidad requerida del concreto proyectado para resistir a una edad inferior a la especificada para el concreto convencional, generalmente menos de un día. Los especímenes de prueba y cilindros a menudo no son adecuados para evaluar la resistencia en edades tempranas. Por este motivo, se han desarrollado varios métodos indirectos para evaluar esta resistencia.
- **Resistencia a la flexión:** La solidez ante curvatura es la capacidad de un elemento para resistir momentos flexionantes. Si la conducta ante flexión es crucial, resulta más adecuado calcular de manera inmediata la tenacidad a la flexión del hormigón proyectado en vez de aproximar este número desde conexiones entre la tenacidad a la flexión y la tenacidad a la

compresión. La tenacidad a la flexión de la base de hormigón además se denomina Módulo de Ruptura y representa la máxima tensión teórica en tracción alcanzada en la fibra más alejada de la fuerza de estiramiento de una barra de ensayo debajo de una carga puntual. Este estiramiento se determina teniendo en cuenta una repartición elástica de la tensión por toda la sección transversal de la barra. Normalmente, la cantidad de resistencia a la flexión del hormigón proyectado es alrededor del 7-15% de la resistencia a la compresión para la mezcla tanto en su estado húmedo como en seco, y podría incrementarse con el tiempo.

- **Módulo de elasticidad:** El coeficiente de resiliencia (E_c), a veces denominado Módulo de Young, representa una evaluación de la firmeza mecánica del concreto proyectado. Por lo general, el coeficiente de elasticidad oscila entre 25-30 gigapascales a una antigüedad de 1 año.
- **Tenacidad:** La resistencia después de la fisuración en el concreto proyectado reforzado con filamentos se mide mediante la tenacidad. Esta cualidad es importante cuando se espera que la estructura se someta a considerables cambios en la forma o movimientos tras la formación de fisuras. La resistencia puede valorarse en relación con la aptitud residual de carga o la habilidad para absorber energía, generalmente desde el comienzo de una carga hasta una flexión específica en una prueba de viga o panel, y se calcula como el área debajo de la curva de carga/deflexión para una muestra. Este atributo se ve mayormente influenciado por el contenido y el tipo de filamento, aunque también puede estar fuertemente determinado por la solidez y la calidad de la matriz de concreto proyectado. Se mide en joules (Nm o KNmm).
- **Retracción por secado:** La contracción por desecación del concreto sin restricciones indica una disminución en su extensión, a través de una medida lineal, al disminuir el nivel

de humedad que contiene. La contracción limitada de un material será inferior a la contracción por desecación sin restricciones, aunque la relación entre ambos factores es complicada. La contracción por desecación del concreto proyectado cambia en función del grado de humedad, la variedad y magnitud de los agregados, y las cantidades de la combinación.

- **Fluencia lenta (Creep):** La deformación por fluencia prolongada es el cambio gradual en la forma de un material bajo carga a lo largo del tiempo. La extensión causada por la fluencia prolongada en un material se suele expresar como una relación con la extensión temporalmente unificada causada por la distorsión resiliente. Este factor multiplicativo se conoce como "coeficiente de fluencia prolongada". La elongación prolongada en flexión del hormigón proyectado no siempre está vinculada con la elongación del mismo material cuando está bajo compresión, especialmente posteriormente de que se hayan formado fisuras
- **Coefficiente de expansión térmica:** El índice de dilatación térmica es la medida en la que el concreto se ensancha o se contrae en respuesta al incremento o disminución de la temperatura.
- **Durabilidad:** El concepto de resistencia aborda la habilidad del concreto proyectado para enfrentar los impactos hostiles dentro del entorno en el que se utiliza. Estos impactos pueden abarcar aspectos climáticos, variaciones extremas de temperatura, exposición al agua salada, interacción con sustancias químicas o la incidencia de fuerzas de impacto y abrasión. El hormigón proyectado puede demostrar una resistencia semejante al concreto tradicional, por lo tanto, la mayoría de las consideraciones y pruebas de resistencia aplicables al concreto convencional son igualmente relevantes para el concreto proyectado.

2.2.2.4. Composición del shotcrete

Según el Instituto del Cemento y Homigon de Chile (2015), El concreto lanzado se compone de cemento, material pétreo fino (arena) y material pétreo grueso (hasta 10 mm), agua, complementos químicos y, en algunos casos, suplementos adicionales finos como la sílice de pequeño tamaño. Estos componentes fundamentales que integran el shotcrete son:

2.2.2.4.1. *Cemento*

El conglomerante hidráulico comúnmente empleado en nuestra nación para el concreto proyectado es el cemento portland puzolánico. Según CEMEX Perú (2019), el cemento portland es una sustancia inorgánica pulverizada, que, al mezclarse con agua, produce una mezcla que se endurece y mantiene su firmeza y estabilidad, incluso en medios acuosos. Este proceso se denomina hidratación.

En este momento se elaboran distintas variedades de cemento portland destinadas a usos particulares. Estas se manufacturan conforme a las directrices normativas establecidas por el país respectivo; en nuestro caso, se siguen las pautas de la Normativa Técnica Peruana (NTP) NTP 334.009 (Cementos Portland. Especificaciones), inspirada en la norma ASTM C 150.

2.2.2.4.2. *Agua*

El líquido debe mantener un estado de pureza, sin rastros de contaminantes que puedan afectar la estructura del concreto o el acero, siendo más adecuado emplear agua apta para el consumo humano. Este nivel de pureza debe ser confirmado cumpliendo con los estándares establecidos en la normativa ASTM C1602.

2.2.2.4.3. *Áridos*

Los materiales pétreos deben satisfacer los criterios establecidos en la normativa ACI 056. Cada componente pétreo en la combinación debe ser categorizado siguiendo las directrices de

tamaño recomendadas por el vendedor o el comprador. Por lo general, la incorporación de arenas más finas en el concreto proyectado tiende a generar mayor contracción, mientras que el empleo de arenas gruesas suele aumentar la cantidad de rebote.

Es esencial que los materiales pétreos sugeridos para la aplicación en shotcrete hayan sido evaluados previamente para determinar sus características de acuerdo con los estándares establecidos. Según Diaz, J. (2014), los materiales pétreos constituyen la mayoría de la combinación de concreto, y aunque su comportamiento sea mayormente pasivo, ejercen una influencia sustancial. Además de sus atributos físicos, la forma y la distribución de las partículas también tienen un impacto significativo. Por otro lado, se recomienda que los áridos cumplan con la gradación N°2, la American Concrete Institute (2016).

Tabla 6

Límites de granulometría para agregados combinados

Tamaño del tamiz, U.S. malla cuadrada estándar	Porcentaje en peso que pasa por tamices individuales	
	Gradación No. 1	Gradación No. 2
3/4 in. (19 mm)	—	—
1/2 in. (12 mm)	—	100
3/8 in. (10 mm)	100	90 - 100
No. 4 (4.75 mm)	95 - 100	70 - 85
No. 8 (2.4 mm)	80 - 98	50 - 70
No. 16 (1.2 mm)	50 - 85	35 - 55
No. 30 (600 µm)	25 - 60	20 - 35
No. 50 (300 µm)	10 - 30	8 - 20
No. 100 (150 µm)	2 - 10	2 - 10

Nota. Adaptado de ACI 506 – Guide to Shotcrete.

2.2.2.4.4. Aditivos

Los complementos químicos y su empleo deben estar en conformidad con los lineamientos de la normativa NTP 339.191 (algunas propiedades específicas de los aditivos no son abordadas

en los estándares locales, por lo tanto, se sugiere considerar las normas ASTM o UNE como punto de referencia en tales casos).

Para el Instituto del Cemento y Homigon de Chile (2015), los ensayos para verificar el cumplimiento de requisitos de desempeño se deben realizar con una mezcla de prueba o con la dosificación de la mezcla de diseño del proyecto. El desenlace de una evaluación llevada a cabo en el hormigón proyectado que incluye el compuesto químico (muestra de evaluación) se coteja con el resultado del mismo análisis del hormigón proyectado sin el compuesto químico (muestra estándar o panel de control). La cantidad de compuesto químico en la muestra de control ha de ser aquella recomendada por el fabricante. Si se sugieren dos o más compuestos químicos para ser integrados en una mezcla de hormigón proyectado, se requiere probar su armonía antes de su aplicación, con el fin de evitar efectos indeseados o, en su defecto, los fabricantes de los compuestos químicos deben garantizar la idoneidad de la secuencia sugerida y su compatibilidad. Estas verificaciones deben realizarse durante las pruebas de idoneidad o con antelación a estas.

Algunos de los más utilizados son:

- Aditivos Acelerantes.
- Aditivos Superplastificantes.
- Aditivo Inhibidor de Fragua.
- Otros.

2.2.2.4.5. *Fibras*

Los refuerzos de fibras son “Filamento alargado y esbelto en forma de manojo, malla o hebra de material natural o manufacturado que puede ser distribuido a través del hormigón fresco” American Society for Testing and Materials (2003),

El desempeño de un concreto o de concreto proyectado y fortalecido con filamentos está en gran medida influenciado por la vulnerabilidad de los filamentos al daño físico durante el proceso de mezcla o aplicación del concreto, su compatibilidad química con el ambiente generalmente alcalino dentro de la pasta de cemento, y su resistencia a las condiciones de servicio presentes en el concreto no agrietado o como resultado de la formación de grietas, que involucran, por ejemplo, dióxido de carbono, cloruros, o sulfatos en solución con agua y la presencia de oxígeno o luz ultravioleta en la atmósfera. La magnitud de las mejoras en las propiedades mecánicas del concreto o concreto proyectado conferidas por los filamentos también refleja las características del tipo de filamentos utilizados, el concreto de fibra tiene un módulo de elasticidad alto y una mayor fuerza a la tracción.

La norma ASTM (2003), Ordena las fibras según su material para su uso en hormigón y shotcrete.

- Tipo I: Fibras de acero (inoxidable, de aleación, o al carbón).
- Tipo II: Fibras de vidrio (pueden sufrir el ataque de los álcalis, a menos que sean especialmente producidas como resistentes a estos).
- Tipo III: Fibras sintéticas (polipropileno de homopolímero virgen, otros materiales deben poseer historial de durabilidad).

Según el Instituto del Cemento y Homigon de Chile (2015), Las fibras suelen ser cortas (hasta 65 mm de largo) y delgadas (menos de 1 mm de diámetro) por lo general de gran capacidad a la tracción. Los filamentos pueden incorporarse para mejorar la capacidad de resistencia a golpes, o regular la contracción, aunque su propósito primordial es otorgar capacidad de soporte después de la fisuración del concreto proyectado, para ello se emplean filamentos macro ya sea de acero o

sintéticos. Los filamentos usualmente no incrementan la resistencia a la tracción o flexión de la estructura de concreto cuando se aplican dosis estándar.

Entre las ventajas de los filamentos en contraposición al empleo de la rejilla de acero como refuerzo, se cuenta una distribución más homogénea del refuerzo a lo largo del concreto proyectado, resultando en un ahorro general, reducción del rebote y mejora en la compactación. El concreto proyectado con Filamento (CPF) también puede adaptarse a superficies irregulares sobre la roca, lo que lo hace más eficaz que el refuerzo con rejilla. Asimismo, se previene la oscilación del entramado, la cual podría resultar en una disminución de la adherencia con la base. Además, la coordinación logística puede ser más sencilla en contraste con el refuerzo de red debido a mejoras en la ejecución, seguridad y eficiencia del proyecto.

Los atributos de los filamentos que impactan en el desempeño del concreto proyectado son: la proporción de aspecto (longitud total frente al diámetro), la fuerza de tracción, así como la forma y cantidad (kg/m³ de concreto proyectado). No obstante, si es importante considerar la conducta después de la fractura del concreto proyectado, por lo tanto, el principal estándar a especificar debería ser la resistencia.

Los materiales convencionales para fortalecer con fibras son alambre de acero, hojas de acero cortadas o polipropileno (ya sea monofilamento o fibrilado). Otros materiales menos usuales empleados para las fibras incluyen nylon, vidrio y carbono. En términos generales, las fibras se pueden categorizar como estructurales (como el acero y las macro fibras sintéticas) y no estructurales (como las micro fibras sintéticas).

La conducta estructural post-fisura de la fibra debe detallarse en condiciones de su tenacidad. Las fibras artificiales de tamaño micro suelen emplearse principalmente para controlar la fisuración debido a la retracción plástica, aunque también son beneficiosas para minimizar el

rebote. Asimismo, colaboran con la emisión de gases y a disminuir la desprendimiento del hormigón proyectado cuando está sujeto a cargas térmicas. La cantidad de fibras sintéticas microscópicas típicamente oscila entre 1 y 2 kg/m³ de hormigón proyectado.

Aunque se sugiere evitar especificar la cantidad exacta de fibras, la confirmación de la inclusión real de las fibras puede basarse en un procedimiento de conteo de fibras. No obstante, este método es poco fiable por la dispersión irregular de las fibras en muestras reducidas. El recuento de fibras es posible que logre efectuarse a través de un método de lavado del hormigón proyectado con fibras en ambientes mojados o mediante la evaluación de las fibras en fragmentos triturados (este último solo aplicable a fibras metálicas). Estas técnicas de prueba se detallarán en la sección correspondiente del manual.

Figura 5

Fibra metálica Maccaferri



Nota. Fibras Wirand, adaptado de Maccaferri.

Figura 6

Fibra sintética Myphor



Nota. Fibras de polipropileno MPH Fiber Plus 48, adaptado de Myphor.

2.2.3. Diseño de mezcla

Según Instituto del Cemento y Homigon de Chile (2015), El desarrollo y evaluación de una combinación de hormigón proyectado deben fundamentarse en las circunstancias anticipadas que imperarán en la ubicación específica, asegurando que, bajo tales condiciones, junto con el método de aplicación y el personal proyectado, se alcance un hormigón proyectado que cumpla con los estándares de calidad requeridos. Existen dos enfoques principales para las directrices, uno centrado en el rendimiento y otro en la prescripción.

- Diseño de mezcla en Shotcrete Via Humeda:

La selección de las proporciones de los elementos en la combinación para la proyección de hormigón en proyectos de infraestructura extensos suele fundamentarse en los requisitos definidos de resistencia a la compresión, límites de asentamiento, compacidad, capacidad de resistencia a la flexión o tenacidad, contracción por desecación, permeabilidad, resistencia a la intemperie

(considerando las categorías de exposición correspondientes cuando sea necesario) y las condiciones de aplicación en el terreno. Las mezclas aptas para bombear generalmente incorporan una proporción más alta de arena/partículas finas para facilitar la lubricación y prevenir la segregación.

La selección de la combinación de áridos de modo que se ajuste a rangos de agregados combinados que han exhibido previamente un desempeño favorable puede agilizar el procedimiento, incrementando las posibilidades de alcanzar un diseño de mezcla satisfactorio.

- Diseño de mezcla en Shotcrete Via Seca

Los agregados deben adecuarse a las mismas distribuciones de tamaño combinadas tanto para el método en seco como para el método húmedo de hormigón proyectado. Para las aplicaciones de shotcrete proyectado sobre cabezas, las combinaciones deben ajustarse a la fracción más pequeña de la distribución de tamaño, mientras que la sección media se emplea para aplicaciones verticales, y la porción más grande se reserva para aplicaciones horizontales proyectadas hacia abajo.

No se puede sugerir proporciones estándar para el hormigón proyectado debido a que la mezcla a utilizar cambiará según las características específicas de cada proyecto, diseño, materiales y métodos de proyección empleados, entre otros factores.

2.2.3.1. Dosificaciones típicas para el concreto lanzado.

Según Sika (2010), Las proporciones de los hormigones proyectados, tanto en el método seco como en el húmedo, oscilan entre 360-480 kg de cemento por metro cúbico de mezcla seca. Se aconseja que la dosificación se realice por masa, aunque el volumen es apropiado cuando el equipo se utiliza de forma esporádica.

En el cuadro se muestra la proporción cemento/árido junto con la resistencia mínima a la compresión. Estos números son solo una guía universal. Sin embargo, se debe realizar un análisis del índice de retorno o declinación en las circunstancias del sitio, considerando las características de los materiales a utilizar y, lo más significativo, la pericia del personal.

Tabla 7

Relaciones cemento/agregados para diferentes resistencias y usos

Mezcla en volumen	Mezcla en peso	Mezcla in situ en peso	R.C.S (28 días)	Uso
1: 5.5	1:5	1:3.6	230 kg/cm ²	Exterior
1: 5	1:4.5	1:3.5	240 kg/cm ²	
1: 4.5	1:4	1:3.2	250 kg/cm ²	Universal
1:4	1:3.5	1:3.2	300 kg/cm ²	
1: 3.4	1:2	1:2	360 kg/cm ²	
1: 2.2	1:1.2	1:1.2	400 kg/cm ²	

Nota. Adaptado de Sika, 2010.

La proporción de agua/cemento en los morteros y concretos proyectados sigue los mismos principios que para los concretos convencionales (0,36-0,55), y está estrechamente vinculada a las fluctuaciones en el módulo de finura de los agregados (2,49 para agregados finos a 3,26 para agregados gruesos).

Para el método de aplicación vía húmeda, se aconseja mantener una proporción agua/cemento inferior a 0,45 para asegurar el adecuado funcionamiento de los aditivos acelerantes de fraguado. La relación agua/cemento (A/C), o agua/aglomerante (A/A) si se utilizan sílice

coloidal o adiciones de humo de sílice, representa uno de los factores de diseño del hormigón proyectado. Se incluye, a título orientativo, un rango de valores de A/C en la tabla siguiente.

Tabla 8

Resistencia a la rotura $f'c$ y relación agua cemento a/c

$f'c$ (kg/cm²)	a/c
175	0.67
210	0.58
245	0.51
280	0.44
425	0.45

Nota. Adaptado de Sika, 2010.

2.2.4. Rebote

Para Sika (2010) El rechazo es la pesadilla del gunitador y del proceso, supone un coste muy elevado en la ejecución de un túnel. Localizar un operario de gunitado con habilidades para manejar el rebote resulta una tarea ardua. El rebote comprende los elementos que no se fijan a la superficie gunitada o a las estructuras metálicas, siendo expulsados por rebote. La cantidad inicial de rebote es significativa cuando el chorro de la mezcla es dirigido directamente hacia la superficie a recubrir, así como cuando se proyecta sobre la estructura metálica; sin embargo, la formación de una capa amortiguadora sobre la superficie reduce esta cantidad.

Por consiguiente, los estratos voluminosos muestran una reducida tasa de rebote, mientras que las láminas delgadas presentan los niveles más elevados de material rechazado. La ejecución adecuada, siguiendo las pautas del arte de gunitar, reviste una relevancia crucial, enfatizando así la importancia de la aplicación precisa y la geometría correcta.

Para calcular la cantidad de material rebotado, se han desarrollado numerosas teorías, tanto empíricas como analíticas, debido a su significativa relevancia económica. Aunque el rebote en sí mismo puede parecer un fenómeno de pérdida de material relativamente menor, su impacto se magnifica cuando se considera en el contexto del rendimiento del equipo de aplicación, así como otros costos asociados, como tiempos de inactividad, eliminación de escombros, consumibles, horas de trabajo, entre otros. Esto lo convierte en un factor crítico en la optimización económica de la tarea.

2.2.4.1. Los factores que influyen en la cantidad de rebote

El porcentaje de rechazo, en cualquier punto y situación, depende entre otros factores de:

- Proporción agua/cemento.
- Composición de la mezcla.
- Aplicador de gunita.
- Características de los áridos (>Árido grueso = mayor rebote).
- Eficiencia de la reacción de hidratación.
- Presión del agua o del aire.
- Diseño de la tobera.
- Velocidad de la proyección.
- potencia del compresor.
- Dimensión de la tobera.
- Angulo y distancia del impacto.

2.3. Definiciones de Términos Básicos

- **GALERÍAS:** Labor horizontal dentro de las minas subterráneas.
- **SOCAVÓN:** Labor de entrada a partir de la superficie horizontal que tenga pendiente.

- **RAMPA:** Entrada inclinada.
- **PIQUE:** entrada de manera perpendicular del cual se desciende a niveles profundos de una mina subterránea.
- **CHIMENEA:** Labor vertical o inclinada que sale directamente a la superficie, la cual puede ser para la extracción de mineral, Puede ser de descenso y ascenso de materiales o mineral, en algunos casos puede ser de ventilación.
- **CRUCERO:** Es el trabajo horizontal que se efectúa sobre roca sin valor económico dentro de una mina subterránea.
- **NIVEL:** labores horizontales de acceso a la mina, que es exclusivamente para trabajos de extracción de mineral o ingreso de materiales y equipos; los niveles generalmente tienen una separación de 50 metros a más.
- **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:** La característica primordial establecida para el shotcrete básico es su capacidad para soportar la compresión. La resistencia a la compresión implica la capacidad de un material para resistir una fuerza de aplastamiento aplicada en dirección axial. En el hormigón endurecido, la resistencia a la compresión sin restricciones es uno de varios indicadores que reflejan la calidad del hormigón. (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2016)
- **RESISTENCIA TEMPRANA:** Es la resistencia mínima a horas tempranas después de haberse lanzado el shotcrete a la superficie que se sostiene.

CAPÍTULO III

3. Metodología de la Investigación

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación se basa en un enfoque cuantitativo experimental (Hernández, 2016).

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación se basa en un análisis descriptivo, evaluativo y correlacional dando respuesta al proyecto de investigación (Hernández, 2016).

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

La población objetiva del estudio es la Unidad Productiva Tambomayo.

3.2.2. Muestra

3.2.2.1. Determinación de la muestra

Con el fin de definir la muestra consideraremos el Crucero CX045NE de la Unidad Productiva Tambomayo.

3.2.2.2. Tipo de muestra

El tipo de muestra empleada se basa en un enfoque no probabilístico ya que los datos recolectados en la investigación se generan según el criterio del investigador al utilizar los instrumentos de recolección de datos.

3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.3.1. Técnicas de Recolección de Datos

La recolección de datos se realizó de acuerdo con la naturaleza del estudio, de acuerdo con las oportunidades para obtener estos datos, considerando la proporción de la población y los bienes disponibles y la posibilidad de obtener datos.

Estos se recuperaron mediante:

- Documentos.
- Técnicas de Laboratorio.
- Datos de Campo

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos:

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron:

- Fichas documentales.
- Fichas de laboratorio.
- Libretas de campo.

3.3.3. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Una vez recopilados, los datos serán analizados siguiendo el proceso de análisis correspondiente de evaluación del agregado Molloco, en la producción de shotcrete para el cruce CX045NE, estos fueron procesados mediante el paquete de Microsoft Office (Word, y Excel), el Software Dips y Unwedge y AutoCAD, con el fin de recolectar los hallazgos necesarios para analizar la información.

Análisis de datos: Esta técnica de recuperación de datos se lleva a cabo a partir de la fuente primaria de donde se recolectan las variables de interés para el estudio.

CAPÍTULO IV

4. Evaluación y Procesamiento de Datos

4.1. Ubicación de la Cantera Molloco

La cantera Molloco está ubicado en el Distrito de Tapay, Prov. de Caylloma; Región Arequipa, con las coordenadas UTM siguientes:

E : 178,719.20 m

N : 8'291,940.40 m

Figura 7

Ubicación de la cantera Molloco



Nota. Adaptado de GoogleEarth

4.2. Determinación de Características Físicas del Agregado de la Cantera Molloco

El estudio de la cantera Molloco permitió determinar, identificar y seleccionar los materiales agregados que son utilizados para la elaboración del shotcrete como elemento estructural para el sostenimiento en las labores de la Unidad Minera Tambomayo, de acuerdo a las especificaciones técnicas que esta solicita.

Figura 8

Fotografía de la Cantera Molloco



Nota. La fotografía muestra la producción de agregado en la cantera Molloco, fuente propia.

Se recogió una muestra de la cantera Molloco, para realizar los ensayos y determinar las características y propiedades mecánicas que son requisitos para la producción del shotcrete, que cumpla con la gradación II de ACI – 506.

Figura 9

Muestra del agregado de la cantera Molloco



Nota. Fotografía propia.

Los ensayos a realizarse serán los siguientes:

Tabla 9

Lista de ensayos que se realizan al agregado de cantera

Nombre del ensayos	Norma del ensayos
Ensayo de material pasante el tamiz #200	ASTM C 117
Ensayo de material gravedad específica y absorción	ASTM C 127
Ensayo de material contenido de Humedad	ASTM C 566
Ensayo de agregados para el concreto	ASTM C 33
Ensayo azul metileno agregado fino.	AASHTO TP57-01
Ensayo de material impurezas orgánicas en el agregado fino.	ASTM C 40

Nota. Elaboración propia.

4.2.1. Ensayo de material pasante el tamiz #200 – ASTM C 117

Para este ensayo se ha lavado con agua pura el agregado de la cantera Molloco para luego ser tamizado en el tamiz # 200, donde se han desprendido las partículas de arcillas y materiales solubles al agua, teniendo los resultados siguientes.

Tabla 10

Resultados del ensayo ASTM - 117, tamiz #200

Tipo de ensayo	Resultado (%)	Limites (%)
ASTM C 117 Tamiz # 200	4.95	No tiene.

Nota. Elaboración propia – Laboratorio ROBOCON.

Figura 10

Lavado de agregado de cantera Molloco



Nota. Fotografía propia

4.2.2. Ensayo de material gravedad específica y absorción - ASTM C 127

Con este ensayo se determinó la densidad y absorción del agregado grueso, sin contar el volumen de vacíos. Para este ensayo la muestra fue previamente tamizada para eliminar el material que pase por el tamiz N°4 y lavada para eliminar el polvo superficial para luego seguir el

procedimiento según la norma ASTM C 127. La absorción es importante para calcular los cambios en la masa del agregado por el agua absorbida en los poros de las partículas; teniendo el siguiente resultado:

Tabla 11

Resultados del ensayo gravedad específica y absorción - ASTM C 127

Tipo de ensayo	Resultado (%)	Limites (%)
Gravedad específica	2.42	No tiene
Absorción	3.41	No tiene.

Nota. Elaboración propia – Laboratorio ROBOCON.

4.2.3. Ensayo de material contenido de humedad - ASTM C 566

Se utilizó el ensayo de humedad por secado para determinar el porcentaje de humedad evaporable de nuestra muestra, incluyendo la humedad contenida en la superficie y en los poros.

Este método es adecuado para ajustar la dosis de los componentes del hormigón. Del ensayo se tiene el siguiente resultado:

Tabla 12

Resultados del ensayo contenido de Humedad - ASTM C 566

Tipo de ensayo	Resultado (%)	Limites (%)
ASTM C 566 - Contenido de Humedad	11.75	No tiene.

Nota. Elaboración propia – Laboratorio ROBOCON.

4.2.4. Ensayo de agregados para el concreto - ASTM C 33

Con el ensayo se definirá el requerimiento de granulometría, calidad de nuestro agregado para su uso en shotcrete. Este será para especificar los materiales a utilizar y también para definir los requisitos de granulometría en el agregado para el shotcrete en proyectos de la Unidad Minera

Tambomayo. Con base en esta prueba se debe determinar el número de finos y áridos finos y su tamaño, por otro lado, de este ensayo de hallo el módulo de fineza de nuestro agregado. Los resultados de este ensayo no dan el siguiente módulo de fineza:

Tabla 13

Resultados del ensayo módulo de fineza

Tipo de ensayo	Resultado (%)	Limites (%)
ASTM C 33 – Módulo de fineza -	3.56	2.3 – 3.1.

Nota. Elaboración propia – Laboratorio ROBOCON.

4.2.5. Ensayo azul metileno agregado fino. - AASHTO TP57-01

El propósito de la prueba AASHTO TP57-01 es determinar la suciedad y el contenido orgánico peligroso en nuestro agregado. La solución de azul de metileno se diluye gradualmente con la muestra de material menor al tamiz de #200. Se formará un anillo azul en el papel de filtro cuando la muestra no pueda adsorber más azul de metileno. El valor del azul de metileno es del 10%; Esto indica que nuestro agregado tiene un desempeño marginalmente aceptable / aceptable.

Tabla 14

Resultados del azul metileno agregado fino - AASHTO TP57-01

Tipo de ensayo	Resultado (%)	Limites (%)	Desempeño anticipado:
AASHTO TP57-01 – Azul metileno agregado fino. -	10.0	< 6	Excelente
		7 – 12	Aceptable
		13 – 19	Problemas
		> 20.	Fallado

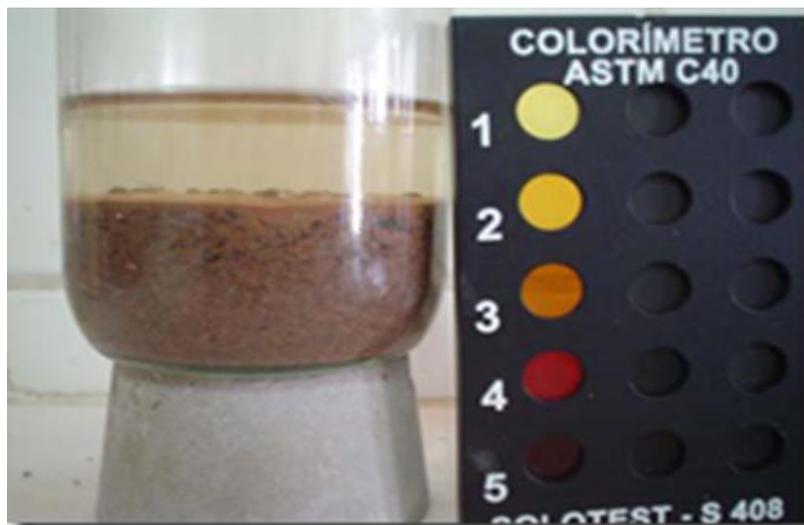
Nota. Elaboración propia – Laboratorio ROBOCON.

4.2.6. Ensayo de material impurezas orgánicas en el agregado fino. - ASTM C 40

Para el ensayo de material de contaminantes orgánicos en el agregado fino, se llena un recipiente de vidrio con agregado, luego se agregó una solución de hidróxido de sodio, para luego agitar fuertemente el recipiente de vidrio, posteriormente dejar reposar por un tiempo determinado y luego comparar el material en el líquido suspendido que serán las impurezas que contenga el material agregado, teniendo el siguiente resultado:

Figura 11

Ensayo comparación con el colorímetro ASTM C40



Nota. Fotografía propia – Laboratorio ROBOCON.

Tabla 15

Resultados del ensayo impurezas orgánicas en el agregado fino - ASTM C 40

Tipo de ensayo	Resultado (#)	Limites (#)
ASTM C 40 – Impurezas orgánicas en el agregado fino	1	1
		2
		3(max.)
		4
		5

Nota. Elaboración propia – Laboratorio ROBOCON.

4.2.7. Determinación de granulometría – ACI -506

La granulometría del agregado es importante para la producción del shotcrete dentro de su diseño de mezcla, este debe contar con la granulometría de gradación II, según la norma ACI 506, que indica para el hormigón proyectado (shotcrete). Por lo que luego de realizar la granulometría con la muestra obtenida de la cantera Molloco se recolectaron estos hallazgos:

Tabla 16

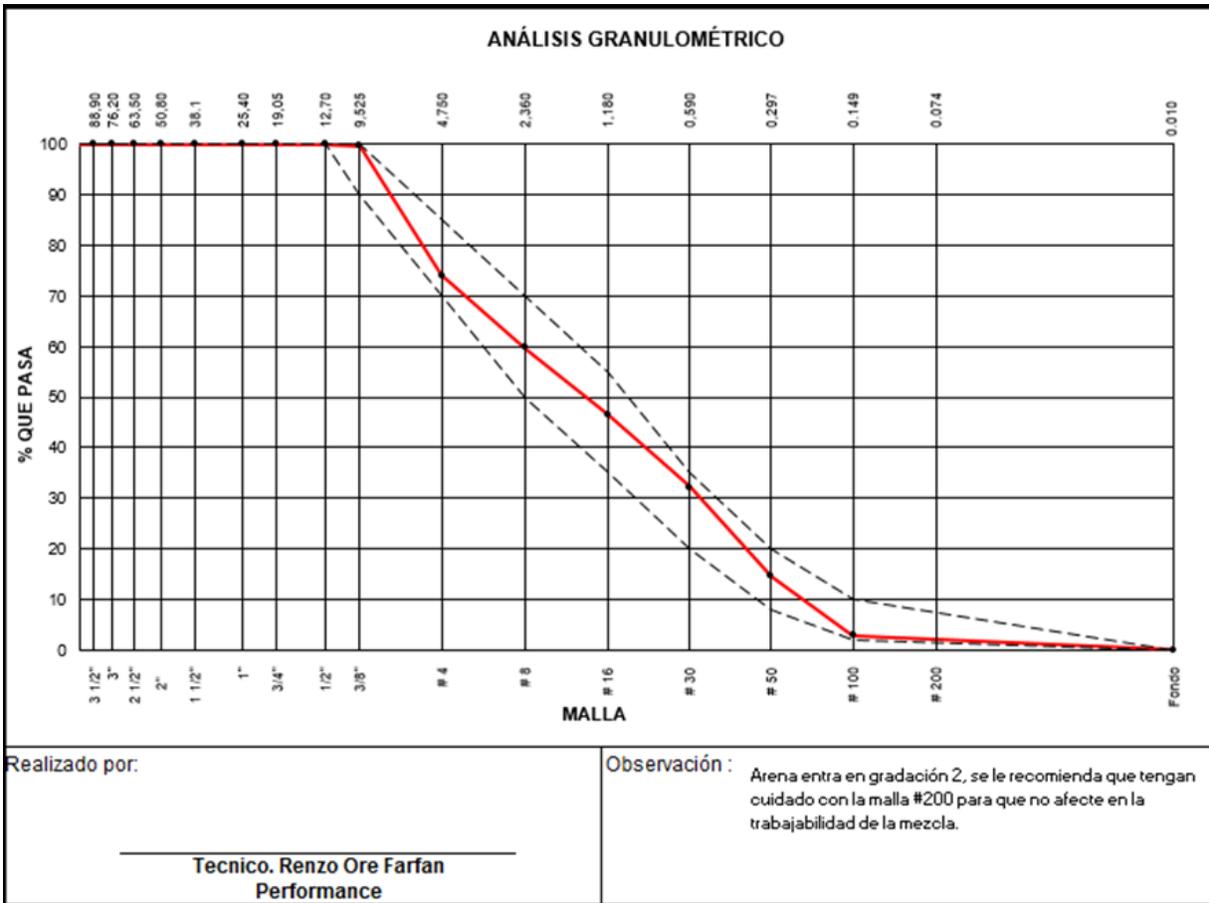
Ensayo de granulometría en base a la gradación II de ACI - 506

Malla	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado	% Límite mínimo	% Límite máximo
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	7.65	0.90	0.90	99.10	90.00	100.00
# 4	209.10	24.60	25.50	74.50	70.00	85.00
# 8	122.40	14.40	39.90	60.10	50.00	70.00
# 16	101.15	11.90	51.80	48.20	35.00	55.00
# 30	144.50	17.00	68.80	31.20	20.00	35.00
# 50	136.00	16.00	84.80	15.20	8.00	20.00
# 100	86.70	10.20	95.00	5.00	8.00	10.00
# 200	0.85	0.10	95.10	4.90	2.00	10.00
Fondo	41.65	4.90	100.00	0.00	0.00	0.00
Total	850.00	100.00				

Nota. Elaboración propia – Laboratorio ROBOCON.

Figura 12

Curva granulométrica de la cantera Molloco con límites de la gradación II – ACI 506.



Nota. Adaptado de Laboratorio ROBOCON.

De los resultados obtenidos se tiene la siguiente curva de granulometría de gradación II de la ACI 506, donde se observa que cumple con las condiciones de los límites mínimos y máximos de esta, por lo que el agregado de la cantera Molloco si cumple con la gradación II.

4.3. Determinación de Diseño de Mezcla del Shotcrete con Agregado de Molloco

La Unidad Minera Tambomayo, ha solicitado que el shotcrete debe tener una capacidad de soportar presión física de 40 MPa con una relación de agua cemento 0.38 – 0.45, por lo que el diseño de mezclas debe cumplir con este requerimiento, utilizando el agregado de la cantera

Molloco; así mismo indican que la resistencia a edades tempranas del concreto debe llegar a los 4MP.

4.3.1. Materiales que se usan en el diseño de mezcla

4.3.1.1. Cemento industrial tipo HE – Yura

Cemento Yura HE, es un cemento tipo industrial con ultra resistencia inicial, es elaborado a partir de Clinker con alta calidad, puzolana volcánica de gran capacidad de respuesta a alta sensibilidad y yeso ambos de alta reactividad.

Figura 13

Cemento tipo HE - Yura



Nota. Adaptado de Especificaciones técnicas de la Empresa Yura.

4.3.1.2. Arena de la cantera Molloco

Se usará la arena de la cantera Molloco debido a que esta cumple con los parámetros de los ensayos realizados, así como con los límites mínimos y máximos de la norma ACI 506 de gradación II.

4.3.1.3. Fibra plástica MYPHOR

Las MPH FIBER PLUS 48 son macro fibras sintéticas, estructurales y de alto rendimiento para los refuerzos solicitados por el shotcrete.

Esta fibra tiene entre otras características y propiedades a las: resistencias residuales a flexo tracción que supera lo mínimo solicitado por la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE- 08). Se tomó en cuenta que las fibras estructurales reducen las micro fisuras causadas por la reducción a lo largo del proceso de endurecimiento, previniendo la aparición de grietas significativas.

Figura 14

Fibra plástica Myphor



Nota. Adaptado de Especificaciones técnicas de la Empresa MYPHOR.

4.3.1.4. Aditivo MasterEase 3014

MasterEase 3014, es un aditivo hiperplastificante, con tecnología de polímeros fabricada exclusivamente por la empresa Master Builders Solutions, diseñado especialmente para producción de concretos con baja viscosidad, así como con reducido contenido de agua, debido a que su innovadora formula permite una adsorción lenta en las partículas de cemento obteniendo de esta forma una hidratación más eficiente.

4.3.1.5. Acelerantes MasterRoc SA 160

El acelerante de MasterRoc SA 160, es un aditivo líquido para shotcrete vía húmeda, que no contiene cloruros, álcalis y no alcalino es apto para distintos usos que requieran fraguado rápido y de alta resistencia inicial y final, así como aplicaciones que requieran grandes espesores. Los ajustes y el tiempo de endurecimiento se pueden controlar mediante la dosificación. Se utiliza para soporte temporal y permanente en obras civiles y mineras.

4.3.1.6. Agua

El agua que se utiliza para el diseño se obtiene de la laguna Tambomayo, esta cumple con las características para la producción de Shotcrete.

4.3.2. Dosificación del diseño de mezcla

4.3.2.1. Cantidad de materiales usados para el diseño de mezcla

La cantidad de materiales que son usados en el diseño de mezcla fue propuesta por el laboratorio de la empresa ROBOCON, el cual hizo un diseño para una producción de un metro cubico de shotcrete. Estas cantidades fueron las siguientes:

Tabla 17

Cantidad de materiales para diseño de mezcla

Ítem	Descripción	Cantidad
1	Cemento industrial Tipo HE - Yura	425 kg
2	Arena de cantera Molloco	1577 kg
3	Fibra plástica - Myphor	4 kg
4	MASTEREASE 3014 (0.94%)	3.57 lt
5	MASTERROC SA160 (9.0%)	26.56 lt
6	Agua de laguna	193 lt

Nota. Adaptado de técnicos en Laboratorio ROBOCON.

4.3.2.2. Ensayo de Shotcrete en estado fresco

El rendimiento de la mezcla de shotcrete en estado fresco consiste en determinar realmente in-situ con la cantidad de 1 m³ que entra en el carguío de planta. El rendimiento debe comprender rangos entre 0.98 a 1.02. Para este caso se obtuvo los siguientes resultados:

- Contenido Aire Resultado: 3.3%. Rendimiento 0.99.

Figura 15

Contenido de aire y rendimiento de la mezcla



Nota. Fotografía propia – Laboratorio ROBOCON.

4.3.2.3. Ensayo de Slump

El ensayo de Slump o también conocido como ensayo de revenimiento y/o asentamiento nos ayuda a determinar la trabajabilidad de nuestro shotcrete, este se basa en la norma ASTM C 143 denominada Método de ensayo para revenimiento del concreto de cemento hidráulico. En nuestro caso se realizó la prueba de slump en planta obteniendo el siguiente resultado:

- Slump: 9 ½”.

Figura 16

Ensayo de Slump



Nota. Ensayo de Slump en campo verificando lo requerido. Fotografía propia.

4.3.2.4. Determinación de tiempo de fraguado

Para la determinación del tiempo de fraguado de nuestro shotcrete, se ha realizado con el ensayo de la aguja VICAT apoyados con la norma ASTM C-191, dicho ensayo se realizó a mezclas con dos tipos de cemento: Cemento Yura tipo HE y cemento Wari Tipo I, a proporciones distintas de acelerante MasterRocSA160 a 8% y 9 %.

Tabla 18

Ensayo Ajuga Vicat ASTM C- 191 Yura Tipo HE vs Wari Tipo 1 al 8%

N°	Cemento	Aditivo Master Roc SA160 (%)	Fragua Inicia (minutos)	Fragua Final (minutos)
1	Yura Tipo HE	8.0	6' 59"	17' 40"
2	Wari Tipo 1	8.0	5' 40"	14' 40"

Nota. Elaboración propia – Laboratorio ROBOCON.

Tabla 19

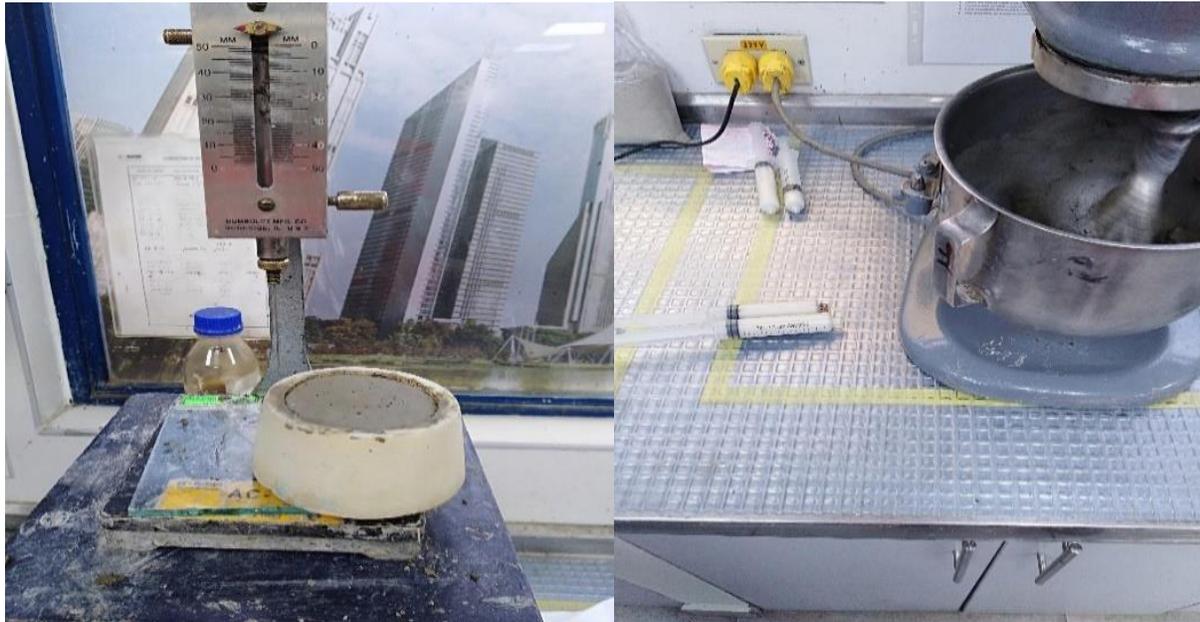
Ensayo Ajuga Vicat ASTM C- 191 Yura Tipo HE vs Wari Tipo 1 al 9%

N°	Cemento	Aditivo Master Roc SA160 (%)	Fragua Inicia (minutos)	Fragua Final (minutos)
1	Yura Tipo HE	9.0	4' 55"	14' 30"
2	Wari Tipo 1	9.0	3' 47"	11' 00"

Nota. Elaboración propia – Laboratorio ROBOCON.

Figura 17

Ensayo de Ajuga Vicat ASTM C- 191



Nota. Fotografía propia – Laboratorio ROBOCON.

4.3.2.5. Determinación de la resistencia temprana

En la determinación de la resistencia temprana del shotcrete, se ha realizado mediante el método de hincado de clavos haciendo uso de la pistola Hilti, el cual se tiene los siguientes resultados:

Tabla 20

Resultados de resistencias tempranas con Pistola Hilti

Prueba N°	Tiempo de concreto	Resistencia (Mpa)
1	30.0 min	0.46
2	1.0 hr	0.86
3	3.0 hr	3.09
4	4.0 hr	4.02

Nota. Elaboración propia – Laboratorio ROBOCON.

Figura 18

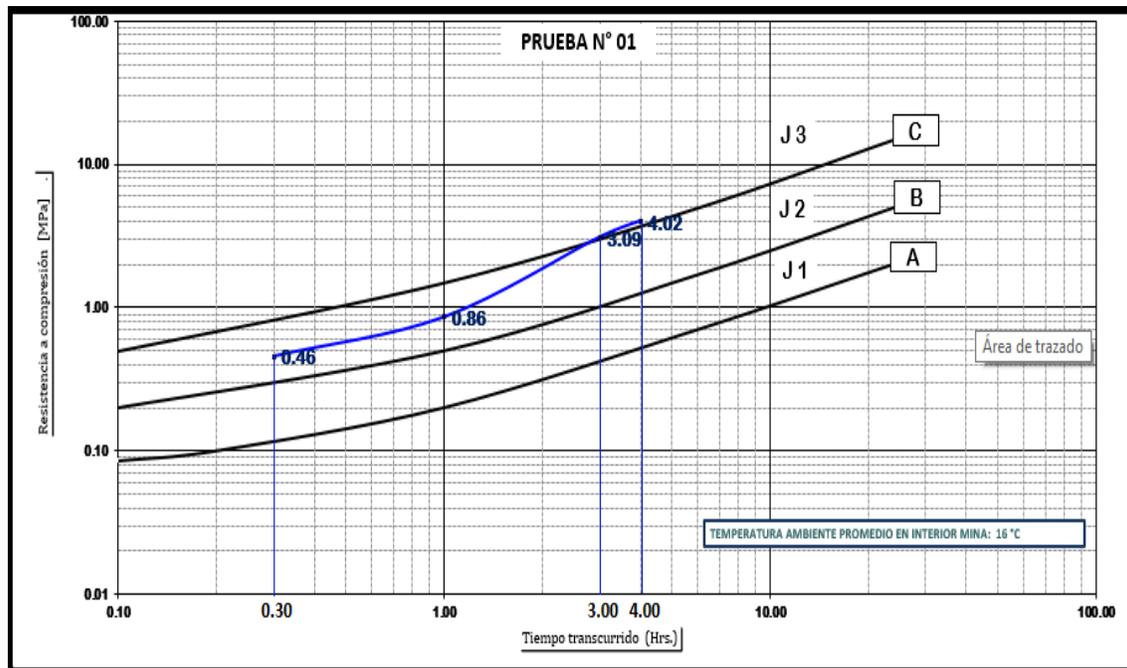
Prueba de la pistola Hilti



Nota. Ensayo de resistencias tempranas en campo. Fotografía propia.

Figura 19

Curva J de la evolución de las resistencias tempranas



Nota. Adaptado de Laboratorio ROBOCON.

En la evaluación según la curva J de las resistencias tempranas se pudo interpretar que:

- J1 es adecuado en la proyección de capas pequeñas y/o delgadas sobre un sustrato seco sin requisitos de carga especiales, por lo que ofrecen como ventaja una baja formación de polvo y poco rebote.
- La curva J2 requiere capas más gruesas para proteger de infiltraciones u operaciones que involucran carga instantánea como, la perforación y anclajes o vibraciones causadas por las voladuras. (también se requiere para aplicación sobre cabeza con grandes espesores. El Shotcrete de curva J2 aplica también en el caso de cargas rápidas debido a las diferentes presiones del terreno.
- En la Curva J3, solo debe ser especificado en casos especiales, esto debido a que forma gran cantidad de polvo y rebote. Estos casos especiales pueden ser por una fuerte

infiltración de agua, cuando se requieren avances rápidos entre otros (requerimientos estáticos).

4.3.2.6. Temperatura de la mezcla

La temperatura del shotcrete se encuentra comprendido a 12°C, y para las condiciones en interior mina debe comprender 18°C a 20°C (condiciones de trabajo).

Figura 20

Medición de temperatura inicial del Shotcrete



Nota. Prueba de temperatura de mezcla en campo. Fotografía propia.

Medición de la temperatura con el aditivo acelerante se encuentra a 13.4°C lo cual está por debajo de lo que recomienda la hoja técnica del producto.

Figura 21

Medición de la temperatura del shotcrete con acelerante



Nota. Prueba de temperatura de la mezcla en campo. Fotografía propia.

4.3.3. Resultados finales del diseño de mezcla

De las pruebas realizadas al Shotcrete en el laboratorio se ha determinado un nuevo diseño final de la mezcla, con respecto al agregado de la cantera Molloco, teniendo lo siguiente:

Tabla 21

Diseño de mezcla final

N°	MATERIAL	Tipo de Concreto A/C=0.45				Tanda
		Peso SSS		Peso seco	Peso húmedo	
		Wsss	Vsss			0.020
1	Cemento Yura HE	425 kg	0.1451	425	425	9
2	Agua	193 lt	0.1930	193	115	2.29
3	Arena Molloco (100%)	1500 kg	0.5971	1452	1578	32
4	MasterEase3014 (0.9%)	4.004 lt	0.0035	4.004	4.0	0.080
5	Master rock sa 160 (9%)	38.25 lt	0.0269	38.25	38	0.77
6	Fibra myphor	4.00 kg	0.0043	4.00	4	0.08
7	AIRE		0.0300	0.00	30.00	30.00
PESO TOTAL		2164.2	1.0000	2117	2194.2	73.3

Nota. Elaboración propia – Laboratorio ROBOCON.

CAPÍTULO V

5. Análisis e Interpretación de Resultados

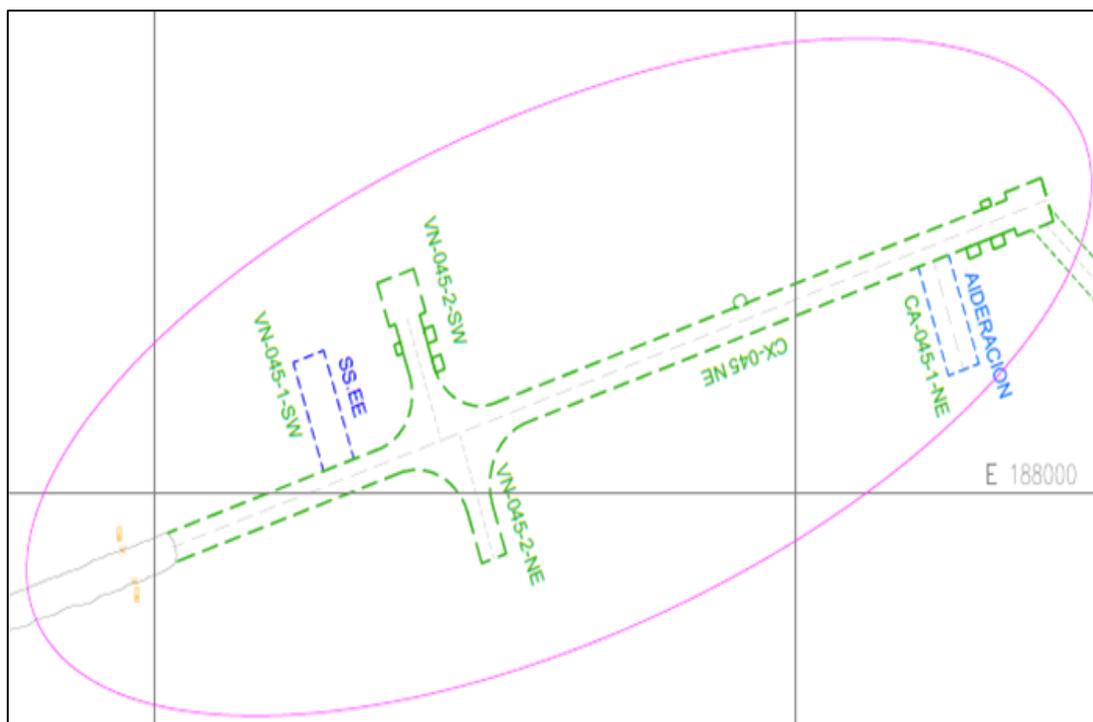
5.1. Características del Crucero CX 045 NE

5.1.1. Longitud del cruceo CX 045 NE proyectado

Se ha proyectado la construcción del cruceo CX 045 NE con una longitud de 120 metros.

Figura 22

Longitud de cruceo CX 045 NE proyectado



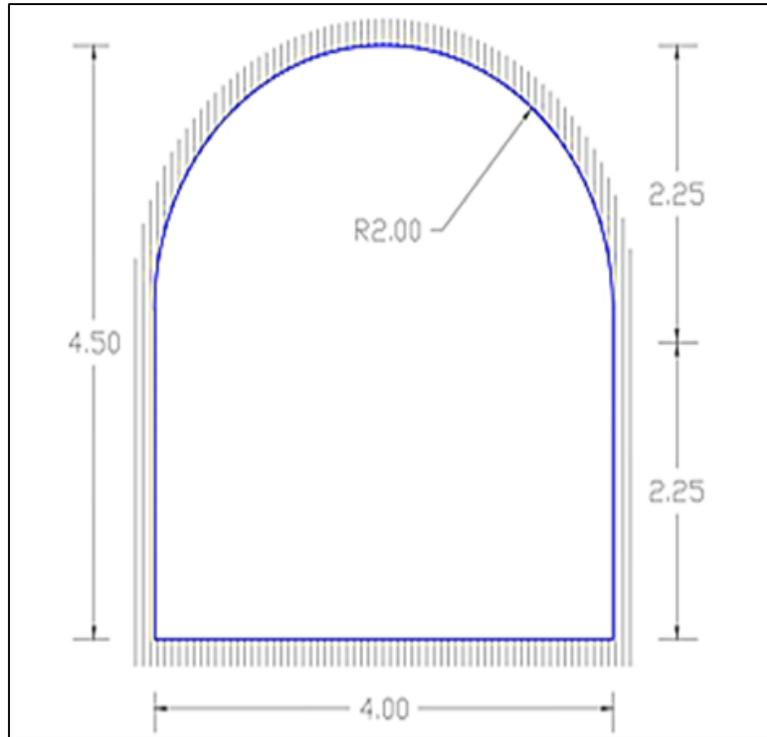
Nota. Adaptado del Área de planeamiento de U.M. Tambomayo.

5.1.2. Sección del cruceo CX 045 NE proyectado

La sección del cruceo proyectado es de 4 metros de ancho y 4.5 de altura, que fue diseñada para que se puedan mover dentro de este los equipos de carguío, el cual tiene la siguiente configuración:

Figura 23

Sección típica del Crucero 045 NE proyectado



Nota. Adaptado del Área de planeamiento de U.M. Tambomayo.

5.1.3. Determinación del sostenimiento según RMR. Bieniawski

Basándose en el mapeo geomecánico de la estación E-070 realizada por la empresa DCR Ingeniero S.R.L., se determina que en el proyecto de la construcción del crucero CX 045 NE, se ha categorizado un macizo rocoso con un RMR clase III-A (el valor de RMR es 57), por lo que el departamento de Geomecánica sugiere el lanzamiento de Shotcrete con un espesor de 1.5" (0.038 metros) de shotcrete y pernos sistemáticos de hasta 4m, con un espaciado de 2m, según se corrobora en la siguiente tabla de Bieniawski:

Tabla 22

Cuadro para la determinación del sostenimiento según RMR

Clase	RMR	Excavación		Sostenimiento		
		Pase		Bulones	Shotcrete	Cerchas
I – Muy buena	81 – 100	Sección completa 3m		Ocasionalmente Localmente en	No necesario	No necesarias
II – Buena	61 – 80	Sección completa 1-1.5m. Sostenimiento terminado a 20m del avance		clave. L=3m. espaciados a 2.5m con mallazo ocasional.	50mm en clave donde sea necesario	No necesarias
III – Media	41 – 60	Avance y parte central de la sección 1.5-3m. sostenimiento empezado en el frente y terminado a 10m del frente		Sistemáticamente en clave y hastial. L=4m. espaciados 1.5 a 2.0m malla en clave.	50-100mm en clave. 30mm en hastiales	No necesarias
IV – Mala	21 – 40	Avance y parte central de la sección 1.0-1.5m. sostenimiento empezado simultáneamente con la excavación y hasta 10m del frente		Sistemáticamente en clave y hastiales L=4-5m. espaciados a 1.0-1.5m con malla.	100-150mm en clave. 100mm en hastiales	Ligeras a medias, espaciadas a 1.5m donde sea necesario
V – Muy mala	1 – 20	Galerías múltiples (0.5-1.5m en avance. Sostenimiento simultaneo con la excavación. Hormigón proyectado inmediatamente después de la voladura.		Sistemáticamente en clave y hastiales L= 5-6m. espaciados a 1.0-1.5m con malla.	150-200mm en clave. 150mm en hastiales. 50mm en el frente	Medias a pesadas, espaciados a 0.75m con forro y longarinas donde sea necesario

Nota. Adaptado de Bieniawski, de 1989.

5.1.4. Mapeo geomecánico del proyecto del crucero CX 045 NE

Tabla 23

Mapeo Geomecánico del crucero CX 045 NE

		MAPEO GEOMECANICO EN LABORES SUBTERRANEAS EVALUACION GEOMECANICA DEL METODO DE MINADO DE MINA TAMBOMAYO															
PROYECTO:		TRAMO:						UBICACION:		NIVEL:		REALIZADO:		FECHA:		HOJA:	
Nº ESTACION:		ORIENTACION DE LA CARA:		TRAMO:		UBICACION:		NIVEL:		REALIZADO:		FECHA:		HOJA:			
E-070		020°		85°		0		4		VETA PAOLA		DHM/HDCH		09/01/2019		70 de 93	
VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										VALORA.							
TIPO DE ROCA				FRECUENCIA FRACTURA		PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)									
A		B		N° Fract. / ml.		R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)		100-250 (12)		50-100 (7)		25-50 (4)		<25(2) <5(1) <1(0)	
MIN		100		xxxx		RQD %		90-100 (20)		75-90 (17)		50-75 (13)		25-50 (8)		<25 (3)	
100		xxxx		24		ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)		0.6-2 (15)		0.2-0.6 (10)		0.06-0.2 (8)		< 0.06 (5)	
TIPO ESTRUC.		ORIENTACION		RELLENO		ESPACIAMIENTO (m)		PERSISTENCIA		ABERTURA		RUGOSIDAD		RELENO		ALTERACION	
D		310°		Ox		< 1 mm		<1m long. (6)		Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (4)		Lisa (1)	
D		323°		Ox		< 1 mm		1-3 m Long. (4)		Muy rugosa (6)		Rugosa (5)		Lig.rugosa (3)		1 - 5 mm (1)	
D		000°		Ox		< 1 mm		3-10m (2)		Limpia (6)		Duro < 5mm (4)		Duro> 5mm (2)		Suave < 5 mm (1)	
D		335°		Ox		< 1 mm		10-20 m (1)		Sana (6)		Lig.Alterada. (5)		Mod.Alterada. (3)		Muy Alterada. (2)	
D		345°		Ox		< 1 mm		> 20 m (0)		AGUA SUBTERRANEA		Seco (15)		Humedo (10)		Mojado (7)	
D		020°		Ox		< 1 mm		4A (4)		VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5)		= 57		Goteo (4)		Flujo (0)	
D		340°		Ox		< 1 mm		4B (4)		CLASE DE MACIZO ROCOSO		RMR		100 - 81		80 - 61	
D		140°		Ox		< 1 mm		4C (5)		DESCRIPCION		I Muy Buena		II Buena		IIIA Regular A	
D		160°		Ox		< 1 mm		4D (4)		IVB Regular B		IVA Mala A		IVB Mala B		V Muy Mala	
D		070°		Ox		< 1 mm		4E (5)		V		40 - 31		30 - 21		20 - 0	
D		000°		Ox		< 1 mm		5 (10)		IIIA		60 - 51		50 - 41		40 - 31	
D		305°		Ox		< 1 mm		5 (10)		IIIA		60 - 51		50 - 41		40 - 31	

RL (NUMERO DE REBOTE)			
J	RQD	J	RQD
5	91	15	55
6	88	16	52
7	84	17	48
8	81	18	44
9	77	19	40
10	74	20	37
11	70	21	33
12	66	22	29
13	63	23	26
14	59	24	22

ABREVIAC. TIPO DE ESTRUCTURAS			
D	Diáclasa	VI	Veta
F	Falla	VIII	Vetilla

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
MIN	Mineral	AND	Andecita
DA	Dacita	DK	Diqe

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Ox	Oxido	Cal	Caloita
Arc	Arcilla	Lm	Limos
Cb	Carbonatos	Py	Pirita

ABREVIACION ESPACIAMEN.		RANGO UCS (MPa)	
1	> 2 m	R1	1 - 5
2	0.6 - 2 m	R2	5 - 25
3	0.2 - 0.6 m	R3	25 - 50
4	0.06 - 0.2 m	R4	50 - 100
5	< 0.06 m	R5	100 - 250
		R6	> 250

BUENAVENTURA Mina Tambomayo		Major Planes Orientations ID Dip/Dir	
1m	51/317	2m	69/007
3m	84/343	4m	82/150

Estación: E - 70

Nota. Mapeo geomecánico en la estación E-070, adaptado del Área de planeamiento de U.M. Tambomayo

5.2. Resultados de Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla final es obtenido a partir de los ensayos el cual presenta la siguiente dosificación con una relación de agua/cemento de 0.45:

Tabla 24

Dosificación final para Shotcrete

N°	MATERIAL	Tipo de Concreto A/C=0.45				
		Peso SSS		Peso	Peso	Tanda
		Wsss	Vsss	seco	húmedo	
1	Cemento Yura HE	425 kg	0.1451	425	425	9
2	Agua	193 lt	0.1930	193	115	2.29
3	Arena Molloco (100%)	1500 kg	0.5971	1452	1578	32
4	MasterEase3014 (0.9%)	4.004 lt	0.0035	4.004	4.0	0.080
5	Master rock sa 160 (9%)	38.25 lt	0.0269	38.25	38	0.77
6	Fibra myphor	4.00 kg	0.0043	4.00	4	0.08
7	AIRE		0.03000	0.00	30.00	30.00
PESO TOTAL		2164.2	1.0000	2117	2194.2	73.3

Nota. Elaboración propia, adaptado del Laboratorio de ROBOCON.

5.3. Resultados de la Resistencia a la compresión

Luego de preparado el shotcrete con el diseño de mezcla del agregado de la cantera Molloco, se realizaron las pruebas de la resistencia a la compresión a los 7 días, 14 días y 28 días, para verificar la resistencia alcanzada.

El cálculo de la resistencia a la compresión se obtuvo con la siguiente formula:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Dónde: $f'c$: Es el valor de la resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²)

P: Es la carga máxima al momento de la rotura de la briqueta (kgf)

A: Es el área de la sección transversal de la briqueta (cm²)

5.3.1. Pruebas de resistencia a los 7 días de lanzado el shotcrete

El resultado de las pruebas realizadas del lanzado del shotcrete a los 7 días son los siguientes:

Tabla 25

Resistencias del shotcrete a los 7 días

Nº	Fecha de lanzado	Fecha de rotura	Edad (días)	Diámetro de la muestra	AREA (cm ²)	Carga máxima (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio Kg/cm ²
1				10.08	79.80	23040	289	
2	17-04-19	24-04-19	7	10.11	80.28	23000	287	288
3				10.11	80.28	23090	288	
1				10.09	79.96	23910	299	
2	18-04-19	25-04-19	7	10.10	80.12	23780	297	297
3				10.08	79.80	23610	296	
1				10.08	79.80	25840	324	
2	20-04-19	27-04-19	7	10.10	80.12	28180	352	342
3				10.10	80.12	28000	349	
1				10.08	79.80	28140	353	
2	23-04-19	30-04-19	7	10.10	80.12	27930	349	351
3				10.08	79.80	27980	351	
1				10.10	80.12	26430	330	
2	24-04-19	01-05-19	7	10.10	80.12	25910	323	326
3				10.10	80.12	26040	325	
1				10.10	80.12	26130	326	
2	26-04-19	03-05-19	7	10.10	80.12	26780	334	328
3				10.10	80.12	25900	323	
1				10.09	79.96	28560	357	
2	29-04-19	06-05-19	7	10.10	80.12	28050	350	350
3				10.10	80.12	27430	342	
1				10.10	80.12	26710	333	
2	30-04-19	07-05-19	7	10.09	79.96	26980	337	331
3				10.10	80.12	25790	322	
1				10.08	79.80	27640	346	
2	02-05-19	09-05-19	7	10.10	80.12	26930	336	341
3				10.10	80.12	27310	341	
TOTAL, PROMEDIO DE RESISTENCIA								333

Nota. Adaptado del Laboratorio de ROBOCON.

De la rotura de las muestras a los 7 días se obtuvo una resistencia a compresión simple de 333 kg/cm² equivalente a 33 MPa, llegando a un porcentaje de 67% su máxima resistencia.

5.3.2. Pruebas de resistencia a los 14 días de lanzado el shotcrete

El resultado de las pruebas realizadas del lanzado del shotcrete a los 14 días son los siguientes:

Tabla 26

Resistencias del shotcrete a los 14 días

Nº	Fecha de lanzado	Fecha de rotura	Edad (días)	Diámetro de la muestra	AREA (cm ²)	Carga máxima (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio Kg/cm ²
1				10.10	80.12	33630	420	
2	17-04-19	01-05-19	14	10.09	79.96	33960	425	423
3				10.10	80.12	33960	424	
1				10.10	80.12	31780	397	
2	18-04-19	02-05-19	14	10.10	80.12	30100	376	386
3				10.10	80.12	30930	386	
1				10.10	80.12	32190	402	
2	20-04-19	04-05-19	14	10.10	80.12	32240	402	402
3				10.10	80.12	32210	402	
1				10.10	80.12	31080	388	
2	21-04-19	05-05-19	14	10.10	80.12	31000	387	391
3				10.10	80.12	31930	399	
1				10.08	79.80	30980	388	
2	23-04-19	07-05-19	14	10.08	79.80	31250	392	390
3				10.08	79.80	31190	391	
1				10.07	79.64	32040	402	
2	24-04-19	08-05-19	14	10.06	79.49	33100	416	407
3				10.08	79.80	32040	401	
1				10.10	80.12	30970	387	
2	29-04-19	13-05-19	14	10.10	80.12	31210	390	386
3				10.08	79.80	30540	383	
1				10.10	80.12	34630	432	
2	03-05-19	17-05-19	14	10.1	80.12	35820	447	439
3				10.1	80.12	35180	439	
TOTAL, PROMEDIO DE RESISTENCIA								409

Nota. Adaptado del Laboratorio de ROBOCON.

De la rotura de las muestras a los 14 días se obtuvo una resistencia a compresión simple de 409 kg/cm² equivalente a 40 MPa, llegando a un porcentaje de 82.29% su máxima resistencia.

5.3.3. Pruebas de resistencia a los 28 días de lanzado el shotcrete

El resultado de las pruebas realizadas del lanzado del shotcrete a los 28 días son los siguientes:

Tabla 27

Resistencias del shotcrete a los 28 días

Nº	Fecha de lanzado	Fecha de rotura	Edad (días)	Diámetro de la muestra	AREA (cm ²)	Carga máxima (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio Kg/cm ²
1				10.08	79.80	38140	478	
2	16-04-19	14-05-19	28	10.10	80.12	38190	477	484
3				10.08	79.80	39740	498	
1				10.10	80.12	39530	493	
2	17-04-19	15-05-19	28	10.10	80.12	39820	497	500
3				10.10	80.12	40730	508	
1				10.10	80.12	38760	484	
2	18-04-19	16-05-19	28	10.10	80.12	39290	490	488
3				10.09	79.96	39240	491	
1				10.10	80.12	38033	475	
2	20-04-19	18-05-19	28	10.1	80.12	38486	480	479
3				10.09	79.96	38561	482	
1				10.08	79.80	39408	494	
2	21-04-19	19-05-19	28	10.1	80.12	39460	493	500
3				10.1	80.12	41258	515	
1				10.10	80.12	40180	502	
2	30-04-19	28-05-19	28	10.1	80.12	40090	500	501
3				10.1	80.12	40220	502	
1				10.08	79.80	40911	513	
2	02-05-19	30-05-19	28	10.1	80.12	39900	498	502
3				10.1	80.12	39650	495	
1				10.10	80.12	36080	450	
2	03-05-19	31-05-19	28	10.08	79.80	37100	465	462
3				10.1	80.12	37800	472	
TOTAL, PROMEDIO DE RESISTENCIA								497

Nota. Adaptado del Laboratorio de ROBOCON.

De la rotura de muestras a los 28 días se obtiene una resistencia a compresión simple de 497 kg/cm² equivalente a 49 MPa, llegando al 100% su máxima resistencia.

5.3.4. Resultados de las pruebas de la resistencia a la compresión

Se ha realizado pruebas constantes a resistencia de compresión simple con el diseño de mezcla para el agregado de la cantera Molloco, teniendo los resultados de resistencia a los 7 días, 14 días y 28 días los cuales se reflejan en el siguiente diagrama.

Figura 24

Resistencias por días de fraguado



Nota. Elaboración propia, adaptado del Laboratorio de ROBOCON.

Los resultados obtenidos de las resistencias son, a los 7 días de fraguado una resistencia de 333 kg/cm² (33MPa), a los 14 días de fraguado una resistencia de 409 kg/cm² (40MPa) y a los 28 días de fraguado una resistencia de 497 kg/cm² (49MPa), es así que se logró lo requerido con el agregado de la cantera Molloco.

5.3.5. Interpretación de la estabilidad en la excavación del crucero CX 045 NE

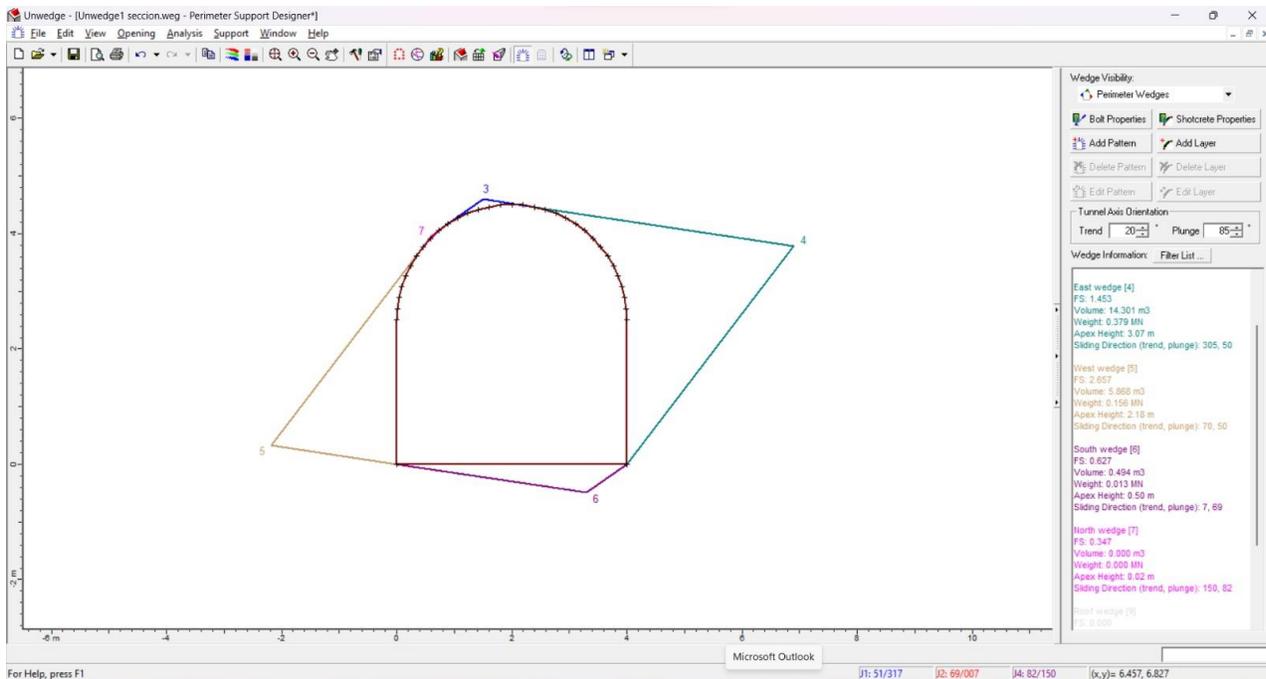
De acuerdo al criterio de la estabilidad de la excavación del crucero CX 045 NE, según el área de Geomecánica de la U.M. Tambomayo, el factor de seguridad para el shotcrete debe alcanzar el valor de 1.8.

5.3.5.1. Modelamiento de la estabilidad de la excavación del crucero CX 045 NE sin sostenimiento.

El presente modelamiento se realiza con los resultados obtenidos por el mapeo geomecánico en la estación E-070, sin aplicar ningún tipo de sostenimiento. El factor de seguridad crítico pertenece a la cuña N°4 ubicada en el hastil izquierdo de la labor con un factor de seguridad de 1.4.

Figura 25

Modelamiento de la excavación sin sostenimiento



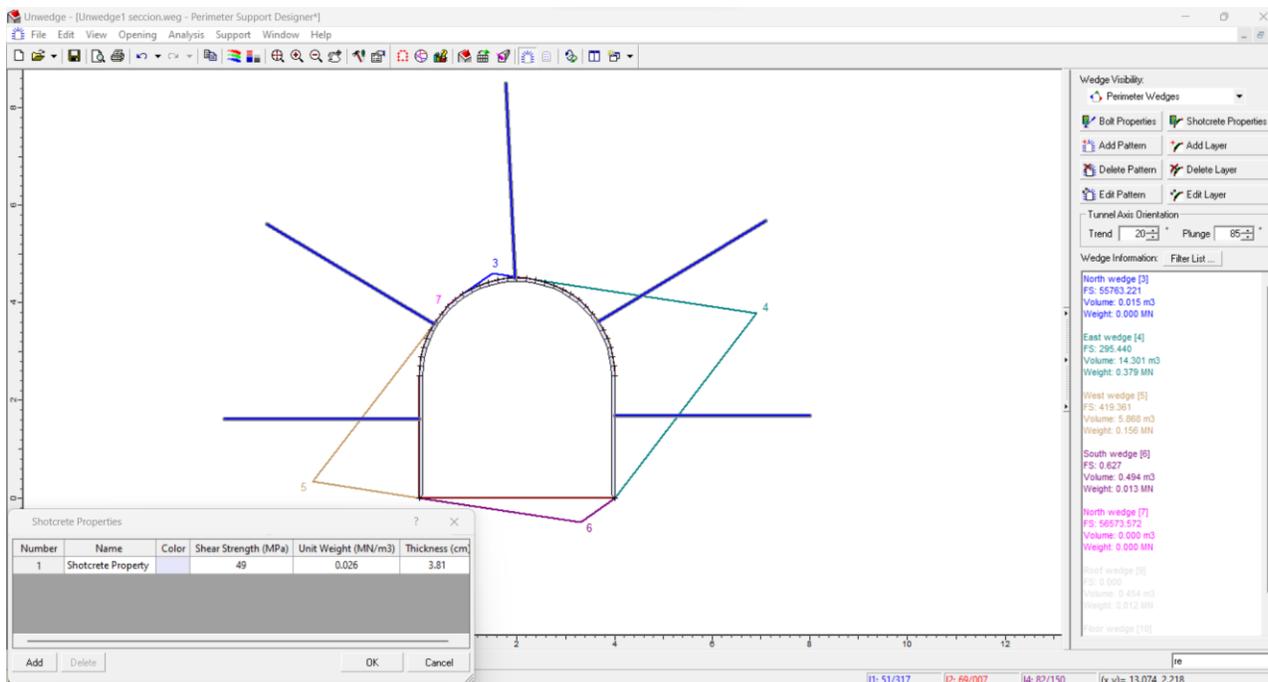
Nota. Modelamiento en el programa Unwedge con datos del mapeo geomecánico en la estación E-070, elaboración propia.

5.3.5.2. Modelamiento de la estabilidad de la excavación del crucero CX 045 NE con la aplicación del sostenimiento requerido.

El modelamiento del sostenimiento se realiza en base a los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos del shotcrete con el agregado de la cantera Molloco (resistencia a la compresión de 49 MPa a los 28 días), con un espesor de 1.5 pulgadas y pernos espaciados cada 2 metros basados en la clasificación de Bieniawski y recomendado por el departamento de geomecánica, para nuestro tipo de roca clase IIIA con RMR de 57.

Figura 26

Modelamiento de la excavación con sostenimiento



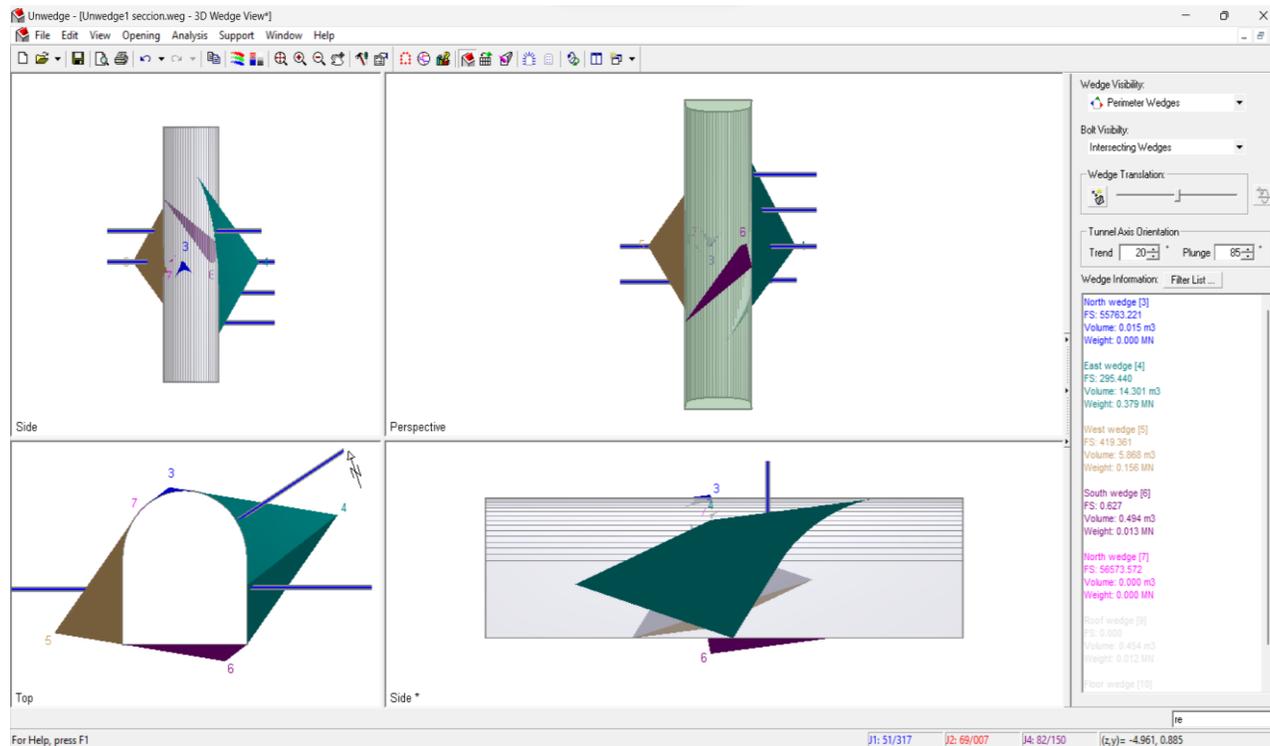
Nota. Modelamiento en el programa Unwedge con datos del mapeo geomecánico en la estación E-070 y resultados de la resistencia a la compresión del shotcrete como sostenimiento según lo solicitado, elaboración propia.

Según los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con el agregado de la cantera Molloco, el factor de seguridad supera lo solicitado por el departamento de geomecánica; esto

quiere decir que tanto las resistencias del shotcrete lanzado influyen directamente en el factor de seguridad, haciendo que se incremente lo establecido por el área de geomecánica.

Figura 27

Modelamiento en 3D de la excavación con sostenimiento



Nota. Modelamiento en 3D, el programa Unwedge del crucero CX045NE con el sostenimiento según lo solicitado, elaboración propia.

5.4. Determinación del Costo de Sostenimiento con Shotcrete (con agregado de la cantera Molloco)

5.4.1. Cálculo del perímetro de la sección del crucero CX045NE

Para desarrollar el cálculo del perímetro de la sección del crucero CX 045 NE, con la siguiente formula:

Sea: p' → perímetro de Shotcrete de diseño o teórico.

$$p' = 2h + \frac{a}{2}(\pi - h')$$

Donde: p' = Perímetro teórico en la sección

h' = altura perpendicular en el hastial de la sección

a = Ancho en la sección.

h = Altura total en la sección

Teniendo como sección típica los siguientes datos:

Para $h= 4.5m$ $a= 4.0m$ $h'=2.25m$

$$p' = 10.78m$$

Formula del perímetro real:

$$p = p' + \Delta p'$$

Donde:

p = Perímetro real o rugoso

p' = Perímetro teórico de la sección

$\Delta p'$ = Coeficiente de rugosidad de perímetro

Para $p' = 1m$. y $\Delta p' = 0,25$; entonces: $p = 1 + 0,25$

El perímetro unitario será:

$$p = 1,25m .$$

El perímetro real:

$$pr = p' * p$$

$$pr = 13.50m$$

Según los datos para el espesor del shotcrete proyectado en el crucero será de 1.5", esta que obedece al diseño de sostenimiento para el RMR de III A, según el mapeo geomecánico. Así como también se tiene determinado que la rugosidad será el 30% y un rebote del 25%.

5.4.2. Determinación del Volumen de shotcrete

Para la determinación del volumen necesarios del shotcrete proyectado para el crucero CX 045 NE, se calcula con la formula siguiente:

$$Vt = P * L * e * \%Rg * \%Rb$$

Donde:

Vt= Volumen total de Shotcrete (m³)

P= Perímetro real de sección (m)

L= Longitud del crucero (m)

e= Espesor de shotcrete (m)

%Rg= Porcentaje de rugosidad

%Rb= Porcentaje de rebote

Teniendo como datos que la longitud del proyecto del crucero es de 120 m, el perímetro calculado es 13.50 m, el propuesto es de 0.038m, con una rugosidad del 30% y un rebote del 25%, se tiene:

$$Vt = 13.50m * 120m * 0.038m * 1.30 * 1.25$$

$$Vt = 100.035 m^3$$

Del cálculo realizado se tiene como resultado que se requerirá 100.035 m³ de shotcrete para cumplir con el proyecto del crucero, este desarrollado con el agregado de la cantera Molloco evaluada.

5.4.3. Determinación del costo de la producción del shotcrete requerido

Es costo de la producción del shotcrete requerido es calculado de acuerdo al diseño de mezcla, con el agregado de la cantera Molloco, los precios son los que ha cotizado la empresa ROBOCON, de acuerdo a cada material requerido en el diseño de mezcla teniendo como resultado los siguiente:

Tabla 28

Costo unitario del concreto según el diseño de mezcla

Material	Precio S/	Dosificación	Costo S/
Cemento Yura HE	0.550	425.00	233.75
Agua	0.050	193.00	9.65
Arena Molloco (100%)	62.500	1.00	62.50
Master Ease 3014 (0.942%)	5.130	3.00	15.39
Master rock sa 160 (9%)	12.830	26.94	345.64
Fibra Sintética Myphor	15.840	4.00	63.36
	Total		730.29

Nota. Adaptado del Laboratorio de ROBOCON.

Así determinamos el costo total del shotcrete según la formula.

$$Ct = Vt * PU$$

Donde:

Ct= Costo total del shotcrete (S/)

Vt= Volumen total de Shotcrete (m³)

PU= Precio unitario de Shotcrete (S/m³)

El costo total de sostenimiento con shotcrete según diseño de mezcla con el agregado de la cantera Molloco es de:

$$Ct = 100.035 \text{ m}^3 * 730.29 \text{ S/m}^3$$

$$Ct = S/ 73,054.56$$

El costo de la producción de shotcrete es de S/ 73.054.56, teniendo en cuenta que este costo es de materiales utilizados según el diseño de mezcla con el agregado de la cantera de Molloco, más no incluye la utilización de los equipos ni de la mano de obra a utilizarse al ejecutar la construcción del cruce CX 045 NE.

6. Discusión de Resultados

6.1. En función a la granulometría del Agregado de la Cantera Molloco

La American Concrete Institute (2016) en la Guía para shotcrete (ACI 506) establece la gradación adecuada del agregado, por tal motivo al evaluar los resultados de granulometría de la cantera Molloco se pudo determinar que estos se encuentran dentro de los parámetros de la norma ACI 506 – gradación II, permitiendo de esta manera su uso para la elaboración del shotcrete.

Por lo tanto, al graficar la curva granulométrica de nuestro agregado de la cantera molloco este concuerda con los parámetros de establecidos por la gradación II del ACI 506.

Tabla 29

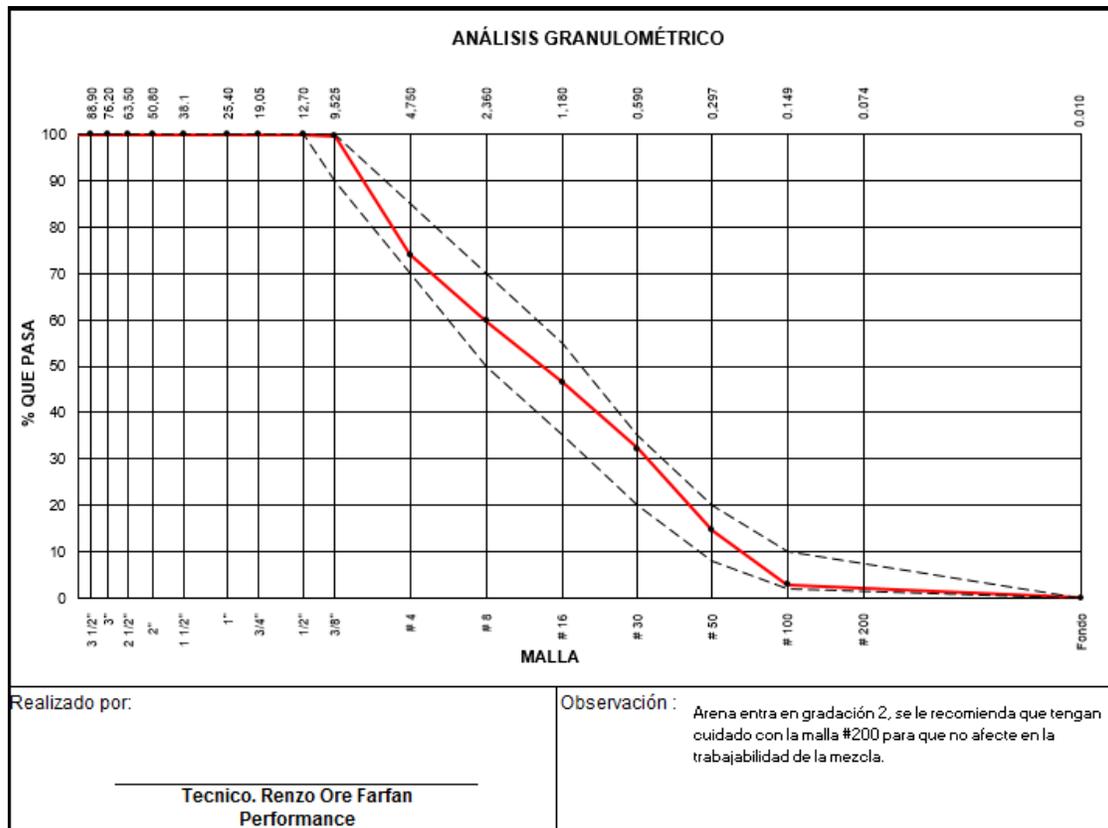
Resultados de granulometría vs gradación II ACI 506

Tamaño del tamiz, U.S. malla cuadrada estándar	Porcentaje en peso que pasa por tamices individuales	
	Gradación No. 2	Gradación del agregado de la cantera Molloco
3/4 in. (19 mm)	—	—
1/2 in. (12 mm)	100	100
3/8 in. (10 mm)	90 - 100	99.10
No. 4 (4.75 mm)	70 - 85	74.50
No. 8 (2.4 mm)	50 - 70	60.10
No. 16 (1.2 mm)	35 - 55	48.20
No. 30 (600 µm)	20 - 35	31.20
No. 50 (300 µm)	8 - 20	15.20
No. 100 (150 µm)	2 - 10	5.00

Nota. La comparación de resultados de gradación de la cantera Molloco concuerda con los establecido por la gradación II del ACI 506. Adaptado de ACI 506.

Figura 28

Curva granulométrica de la cantera Molloco en gradación II – ACI 506



Nota. Adaptado de Laboratorio ROBOCON

6.2. En función de la Resistencia Obtenida del Shotcrete con el Agregado Molloco

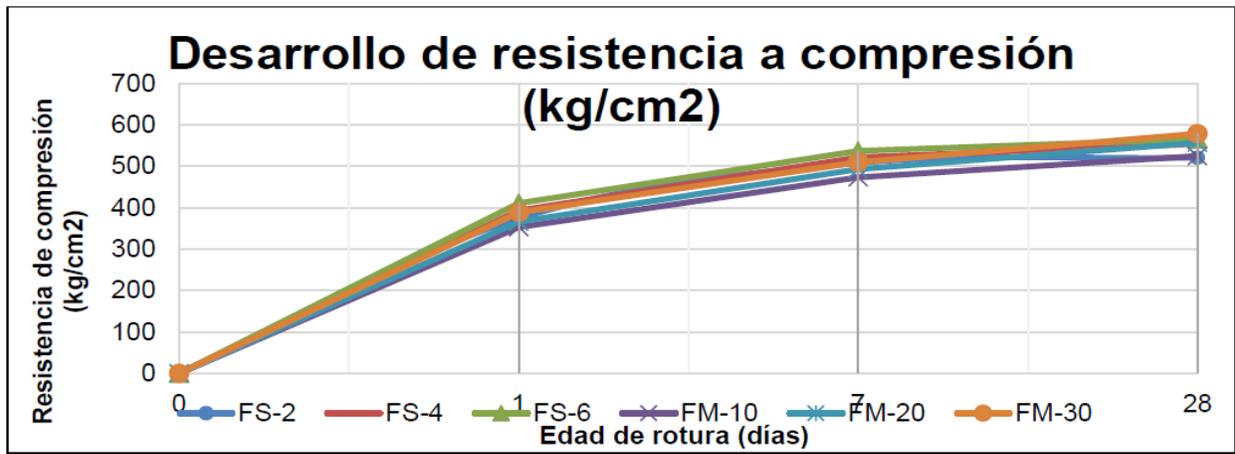
Las resistencias del shotcrete para Acuña Holguin (2023) en el análisis de incrementar fibra en diversos diseños de mezcla muestra la evolución de la resistencia a la compresión del shotcrete.

Tomando como referencia que su análisis tiene como similitud la relacion de agua y cemento, con el análisis de la presente investigación, se puede verificar que sus resultados de la curva de resistencia a la compresión se relacionan a los resultados de la resistecia a la compresión de nuestra investigación.

Por lo tanto dichas curvas de resistencia a la compresión concuerdan con los resultados de obenidos en la presente investigación.

Figura 29

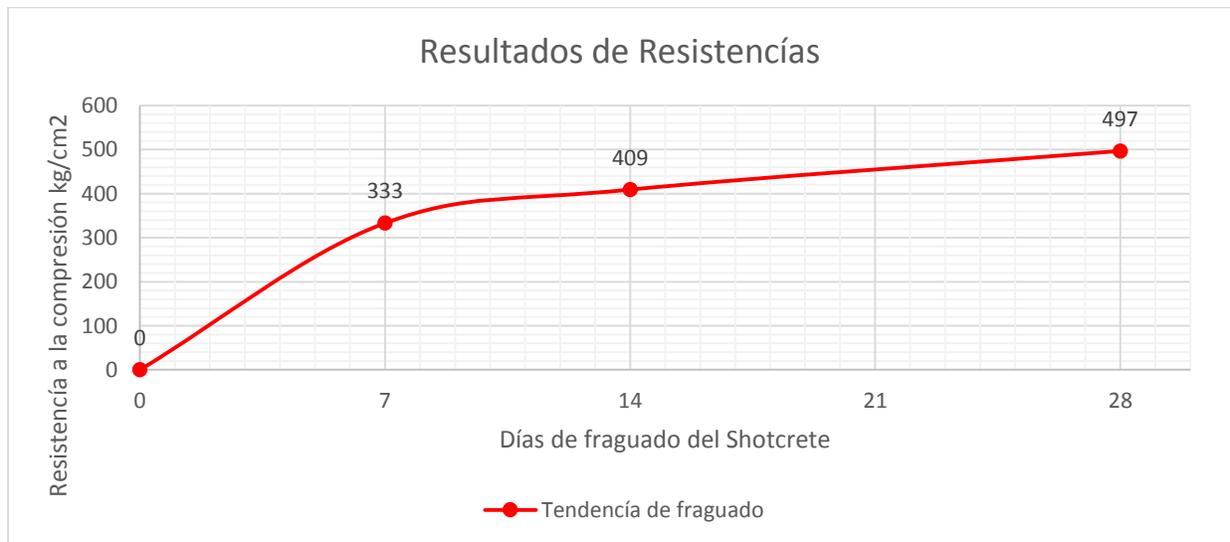
Curva de resistencias - Acuña H. (2011)



Nota. Adaptado de Acuña H. (2011).

Figura 30

Resistencias por días de fraguado



Nota. Se puede verificar que las resistencias a los 7 y 28 días asemejan con los resultados obtenidos por Acuña H. (2011) Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que después de realizar las pruebas hasta el nivel de la cantera Molloco se tiene los resultados que están dentro de la curva de granulometría de gradación II de la ACI 506, donde se observa que cumple con las condiciones de los límites mínimos y máximos de esta.
2. Se concluye que el proceso de elaboración de la combinación adecuada para el nivel de la cantera Molloco para la producción de shotcrete debe tener una relación de agua cemento A/C de 0.45, así mismo una distribución de cantidades con respecto a: Cemento - 425 kg, Arena de la cantera Molloco - 1500 kg, Fibra plástica Myphor - 4 kg, MASTEREASE 3014 – 4 lt, MASTERROC SA160 – 38.25 lt y agua – 193 lt.
3. Se concluye que las resistencias a la compresión con el agregado de la cantera Molloco es de a los 7 días de fraguado una resistencia de 333 kg/cm², a los 14 días de fraguado una resistencia de 409 kg/cm² y a los 28 días de fraguado una resistencia de 497 kg/cm², lo cual supera lo requerido por el área de geomecánica de la U. P. Tambomayo.
4. Se concluye que el costo de la producción de shotcrete es de S/ 73.054.56, teniendo en cuenta que este costo es de los materiales utilizados de acuerdo al diseño de mezcla con el agregado de la cantera Molloco, para los 120m del Crucero CX045NE de la U. P. Tambomayo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al departamento de geomecánica de la U. P. Tambomayo., emplear el agregado proveniente de la cantera Molloco, dado que satisface los requisitos de granulometría determinados en la curva de gradación II de la ACI 506.
2. Se recomienda a la empresa ROBOCON, utilizar el siguiente diseño de mezcla: Cemento - 425 kg, Arena de la cantera Molloco - 1500 kg, Fibra plástica Myphor - 4 kg, MASTEREASE 3014 – 4 lt, MASTERROC SA160 – 38.25 lt y agua – 193 lt, el cual ha evidenciado su idoneidad para la fabricación de shotcrete con el agregado de la cantera Molloco, para los proyectos que necesitan realizar los sostenimientos adecuados.
3. Se recomienda al departamento de geomecánica de la U. P. Tambomayo realizar ensayos de fuerza de compresión en varias muestras etapas de fraguado (7, 14 y 28 días), a fin de monitorear y evaluar el comportamiento y la calidad del concreto utilizando el agregado de la cantera Molloco.
4. Se recomienda al departamento de geomecánica de la U. P. Tambomayo realizar una constante verificación y mapeo geomecánica en las labores de la unidad con la finalidad de establecer el tipo de sostenimiento brindando seguridad al personal y operaciones en general.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña Holguin, S. (2023). Implementación de la fibra sintética en el shotcrete en el sostenimiento de la rampa 565 del nivel 23, en la Cia. minera Alpayana Casapalca - Lima. Cusco, Perú: Universidad Nacional de San Antonio abad del Cusco. Obtenido de <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/7398>
- American Concrete Institute. (Junio de 2016). Guide to Shotcrete. Farmington Hills, USA.
- American Society for Testing and Materials. (Mayo de 1995). Método de ensayo normalizado para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de 75. *ASTM C 117 - 95*. United States.
- American Society for Testing and Materials. (Marzo de 1997). Método de prueba estándar para el contenido de humedad total evaporable del agregado mediante secado. *ASTM C566-97*. United States.
- American Society for Testing and Materials. (Julio de 2003). AGREGADOS PARA CONCRETO. *ASTM C33-03*. United States.
- American Society for Testing and Materials. (Julio de 2003). Standard Specification for Fiber - Reinforced Concrete and Shotcrete. *Annual Book of ASTM Standards* . West Conshohocken, United states.
- American Society for Testing and Materials. (Junio de 2011). Método de prueba estándar para impurezas organicas en agregado fino para concreto. *ASTM C 40 - 11*. United states.
- American Society for Testing and Materials. (Marzo de 2015). Método de Ensayo Normalizado para Determinar la Densidad, la Densidad Relativa (gravedad específico) y la Absorción de los Agregados Gruesos. *ASTM C127-15*. United States.

- CEMEX Perú. (Junio de 2019). Hablando de cementos Portland. *Artículos de Construcción*.
Obtenido de <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland#:~:text=El%20cemento%20portland%20es%20un,estabilidad%2C%20incluso%20bajo%20el%20agua>.
- Díaz Lazarovich, J. (Febrero de 2014). Shotcrete Vía Húmeda. Su importancia como sostenimiento en minería. Perú. Obtenido de https://iimp.org.pe/pptjm/jm20140227_shotcrete.pdf
- Huamani Curasma, R. J. (2020). La granulometría del agregado proyectado con el equipo Ocmer y su influencia en el efecto rebote en el lanzamiento del shotcrete vía seca para labores permatentes, MARSAS - Trujillo 2020. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7205>
- Instituto del Cemento y Homigon de Chile. (Octubre de 2015). Shotcrete - Guía Chilena del Hormigón Proyectado. Santiago, Chile.
- Instituto Nacional de Vías. (2007). Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras. *I.N.V.E.-235.07*. Bogotá, Colombia.
- Martínez Vargas, J. A. (Diciembre de 2011). Análisis del concreto lanzado como revestimiento definitivo para túneles. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7538>
- Sika. (2010). Túneles y obras subterráneas. Madrid, España.
- Tapia Choquehuanca, J. A. (2017). Diseño y aplicación del shotcrete vía húmeda como elemento de sostenimiento en Labores Mineras – Inpecon SAC – Mina Chipmo CIA Minera Buenaventura Unidad Orcopampa. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/538438a2-5b30-4bab-b2b2-b5a6dbde8eb6>

ANEXOS

7. ANEXO 01. Descripción de la Mina

7.1. Generalidades de la Mina

Tambomayo es una mina descubierta por Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.; se trata de un proyecto subterráneo de oro y plata de alta ley, ubicada a una altitud de 4,800 m.s.n.m en el Distrito Tapay, Provincia Caylloma, Región Arequipa. Es en diciembre del 2016, que Tambomayo produjo con éxito su primera barra doré.

Tambomayo es un yacimiento polimetálico epitermal y mesotermal en vetas de oro y plata con metales base en clastos de cuarzo, alojados en rocas volcánicas andesíticas del Terciario. Con respecto al oro, este se presenta en su estado natural y electrum, a diferencia de la plata que se encuentra en forma de sulfuros y sulfosales, asociados con galena y esfalerita. La unidad minera Tambomayo cuenta con dos sistemas de vetas principales: Mirtha en dirección noroeste-sureste y Paola en dirección norte-noreste. De igual modo, cuenta con áreas con fines de exploración cercanas.

Ahora bien, la extracción del mineral se realiza a través de rampas y el crucero 4840, y este a su vez es transportado por camiones de 30 toneladas. Las técnicas de explotación utilizadas son los de corte y relleno ascendente y bench & fill mecanizados. En cuanto a la ventilación, la unidad minera cuenta con dos principales ventiladores de 300,000 cfm y ventiladores auxiliares para las actividades de exploración y desarrollo. Por otro lado, para el drenaje de mina existe una estación de bombeo de agua con una capacidad de 60 litros por segundo, que bombea agua hasta el nivel 4740 para su debido tratamiento.

En Tambomayo, el proceso metalúrgico involucra chancado primario, molienda fina, tratamiento gravimétrico y cianuración en tanques, con el fin de obtener una solución de oro y plata para su procesamiento (precipitación con zinc) en la planta de Merrill Crowe. Seguidamente, el precipitado se seca y se funde para obtener barras doré. Finalmente, los relaves generados en la cianuración ingresan a un proceso de flotación, para obtener concentrados de plomo-plata y zinc-plata.

7.2. Ubicación y Accesos

7.2.1. Ubicación

La unidad Minera Tambomayo se encuentra ubicado políticamente en el anexo Puna Chica y Tocallo, Distrito Tapay, Provincia Caylloma y Región Arequipa. El proyecto se encuentra ubicado entre altitudes 4400 y 4800 m.s.n.m.

Figura 31

Ubicación Geográfica del Unidad Minera Tambomayo



Nota. Adaptado del departamento de geología de la Unidad Minera Tambomayo.

Hidrográficamente, el proyecto se ubica en la microcuenca Ucriamayo, que pertenece a la subcuenca del río Molloco, que a su vez desemboca en el río Colca, que se denomina aguas abajo Majes y finalmente desemboca en el océano Pacífico como río Camaná.

Tabla 30

Coordenadas de ubicación de la Unidad Minera Tambomayo

Coordenadas de la U.M. Tambomayo		
	S	W
Coordenadas Geográficas	15° 29' 02''	71° 59' 35''
	15° 27' 40''	71° 54' 17''
	N	E
UTM WGS 84	8286500	180500
	8287800	189100

Nota. Adaptado del departamento de geología de la Unidad Minera Tambomayo.

La mina Tambomayo pertenece geográficamente a la provincia de Caylloma en la ciudad de Arequipa, como es sabido la provincia de Caylloma tiene varios proyectos operando a su alrededor.

7.2.2. Accesos

La vía de acceso, por carretera es:

- Arequipa – Yura – Cañahuas / Pista asfaltada / 79km
- Cañahuas – Sibayo / Carretera afirmada / 54 km
- Sibayo – Caylloma / Carretera afirmada / 136 km
- Caylloma - Talta huarahuarco / Trocha carrozable / 09 km
- Talta huarahuarco – Tambomayo / Trocha carrozable / 23 km

7.3. Geología

7.3.1. Geología Regional

Casi toda el área minera de Tambomayo está formada por rocas volcánicas de composición andesítica, se presentan en forma de lava, obsidiana y brecha, las cuales se estratifican y alcanzan potencias de más de 1000 m. La región alberga los depósitos de yacimientos como Orcopampa, Acata, Ares, Poracota, Caylloma, Suyckutambo, Shila y Paula, así como unidades litológicas sedimentarias y volcánicas que van desde el Jurásico hasta la época moderna. El centro volcánico de Tambomayo es una de las muchas características volcánicas que existen en esta parte sur de los Andes peruanos y se desarrolló a lo largo del Neógeno y Cuaternario de 30 a 0,1 millones de años. Enormes volúmenes de roca volcánica que yacen con suaves ondulaciones en el terreno deformado de los períodos Paleozoico y Mesozoico atestiguan la formación de regímenes tectónicos y arcos magmáticos a lo largo de la Cordillera de los Andes, que ocurrieron desde el Oligoceno hasta el Plioceno (Fletcher et al., 1,989 y Clark et al., 1,990).

A escala regional se han identificado varios grupos de erupciones volcánicas según el tiempo de formación: la litología más antigua corresponde al Grupo Tacaza o Volcanes Orcopampa (Dávila, 1988; Palacios et al., 1993 y Fornari et al., 2002), depositaron vulcanismo en ambientes continentales y parcialmente en grandes lagunas. Seguidamente la Formación Alpbamba o Grupo Sillapaca, y luego el Grupo Maure.

Durante el Mioceno ocurrieron varios fenómenos tectónicos de compresión definidos para las Fases I, II y III del Quechua, resultando en un suave plegamiento seguido de una etapa de ruptura que resultó en fallas de desgarro conjugadas y fracturas por tracción asociadas con la compresión del Cercano Oriente. Oeste. Después de cada fase de plegamiento, sigue un proceso de denudación que da lugar a la formación de una superficie de Puna.

En el Plioceno Inferior, la actividad volcánica ácida ligada a la actividad tectónica dio lugar a la gran acumulación de toba de la Formación Sencca, al final de este proceso se produjo un hundimiento que dio lugar a la formación de la Caldera Caylloma, cuya depresión formó un lago de gran tamaño donde se depositaron limolitas de la Formación Pusa (Dávila, 1,988).

7.3.2. Geología local

Se encuentra rodeado por otros centros volcánicos más antiguos y más jóvenes; como son: al Oeste se encuentran las Calderas Chinchón y Huayta (20 y 11 Ma), al Noreste la Caldera Caylloma (2.5 a 4.4 Ma), Sureste el Centro Volcánico Mismi (1.5 a 1.0 Ma) y al Sur el Centro Volcánico Hualca (1.0 a 0.5 Ma).

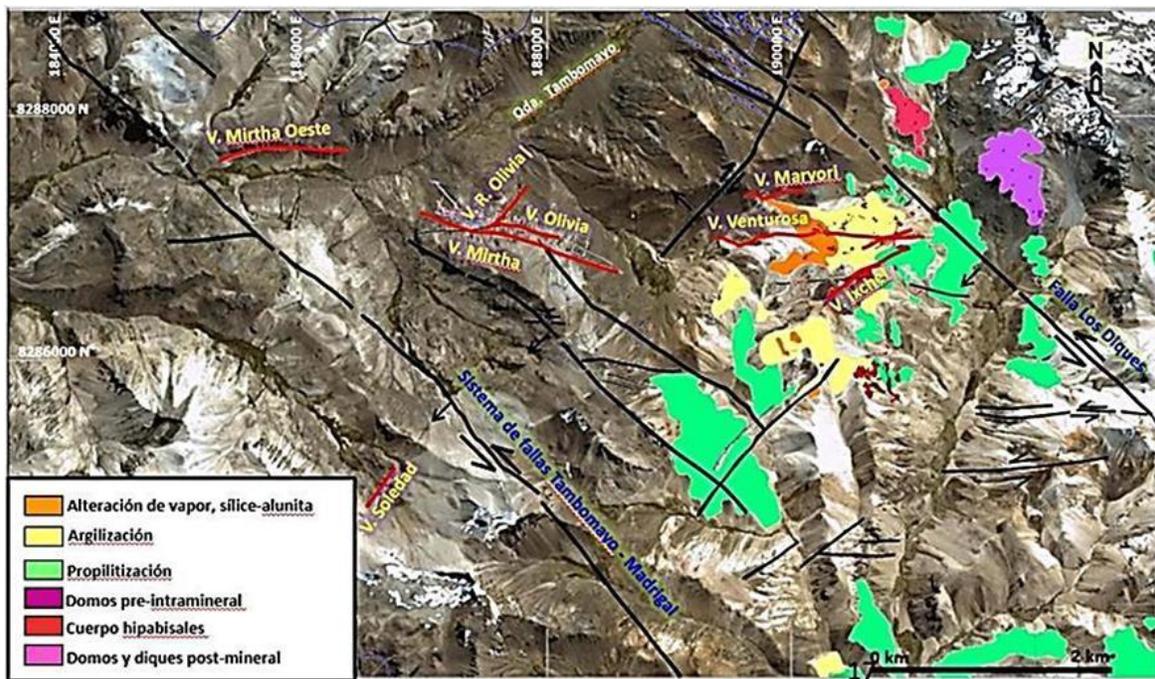
La edad cronológica asumida, será corroborada o descartada con la medición radiométrica, mediciones isotópicas que se harán sobre minerales magmáticos de las rocas frescas, así como, sobre mineralogías de alteración hidrotermal como adularia y alunita, presentes en la Veta Mirtha y los crestones silíceos del Cerro Sahualke.

El cono volcánico Tambomayo evidencia una larga y compleja historia eruptiva, las litologías piroclásticas, efusivas o intrusivas muestran diferentes reologías y naturalezas que gradan desde traquiandesitas hasta dacitas.- Si a las características magmáticas, sumamos, la existencia de capas imbricadas que se disponen concéntricas a un cono volcánico parcialmente erosionado, clasificamos al: Cono volcánico Tambomayo como un típico volcán compuesto o estrato volcán, característico de los márgenes continentales adyacentes a zonas de subducción. La base de forma elíptica del cono, contorneando los pseudo|estratos con buzamientos mayores a 30° alcanza unos 14 km de diámetro, cuyas paredes presentan un drenaje radial erosivo las que se encuentran seccionados por fallas geológicas y quebradas en forma de valle.

Este centro volcánico presenta una evolución interesante, pues constituiría el eslabón cronológico entre las edades de las calderas Chinchón y Caylloma. (Calapuja C., 2014).

Figura 32

Geología de la Unidad Minera Tambomayo



Nota. Adaptado del departamento de geología de la Unidad Minera Tambomayo.

7.3.3. Geología Estructural

La Tectónica Regional en la cadena de los Andes se originó durante el Cretáceo cuando la placa de Nazca inició la subducción bajo la placa sudamericana, dando lugar a un elevamiento que en éstas latitudes llega hasta los 6,700 msnm en el nevado Coropuna.

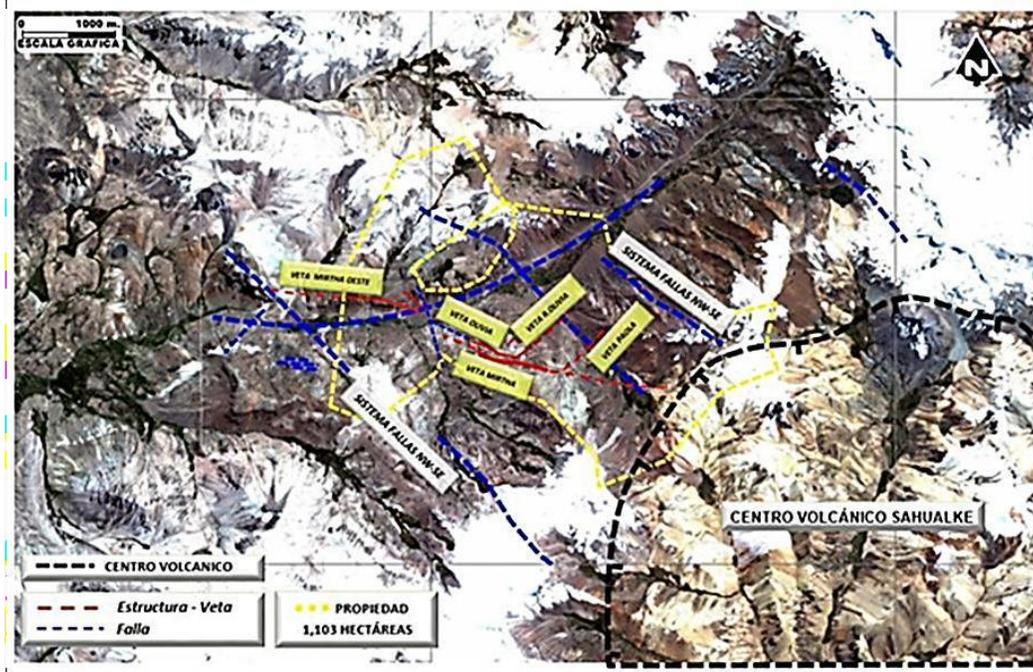
Sin embargo, este tectonismo ha sido cíclico reflejado por la presencia de eventos de extensión relacionado a eventos de relajación entre los eventos compresivos (Noble et al., 1999).

En dicho marco tectónico son habituales los movimientos de deformación transtensivos y transpresivos, en donde son frecuentes los cambios rápidos en la dirección de los esfuerzos.

Ejemplos factos de la relación inherente entre la tectónica y la mineralización auro argentífera en la región, cada una tomados de estudios tectónicos de las minas Shila, Paula, Caylloma y Suyckutambo. (Calapuja C., 2014).

Figura 33

Litoestratigrafía de la veta de la U.M. Tambomayo



Nota. Adaptado del departamento de geología de la Unidad Minera Tambomayo.

7.3.4. Geología Económica

A lo largo del segmento cordillerano entre la Mina Madrigal y la unidad Minera Poracota, existe un grupo de depósitos minerales con altas concentraciones en metales preciosos y metales base, cuyos orígenes guardan estrecha relación con las tectogénesis y magmatismo ocurridos durante el Neógeno desde los 23.0 Ma hasta los 5.0 Ma, siendo los depósitos de Caylloma y Orcopampa los más antiguos de la región entre 18.5 Ma y 16.0 Ma mientras que Arcata viene a ser el depósito más joven con 5.4 Ma.

Entre los depósitos minerales más significativos, considerando el historial de producción y el tamaño del sistema hidrotermal, sobresalen los distritos mineros de, Caylloma, Orcopampa, cata, Selene - Pallancata, Shila-Paula y Suyckutambo. Otro grupo de depósitos minerales con tamaños más modestos encontramos a Madrigal, Tambomayo, Ares, Poracota y Lima.

En resumen, la metalogenia de los terrenos del Neógeno Sur, al igual que el resto de los Andes Peruanos, fueron determinadas por el marco tectónico de margen continental activo instaurado desde comienzos del Mesozoico.

Paragénesis y zoneamiento: La cantidad de minerales de mena, dentro de la veta se contribuye obedeciendo a temperatura y a la composición química que tuvo las coladas de flujos que transporto a las determinadas especies mineralizadas de las vetas.

La mineralización en toda la veta Mirtha está representado de acuerdo a la temperatura y profundidad hasta superficie. Se tuvo una reactivación de estas vetas de cuarzo blanco masivo, lechoso con presencia de fracturas y fallamiento de rango local cortando cuarzo, gris lechoso, algunas el contacto del cuarzo calcedonio con él piso, otras veces en el contacto con el techo y a veces en la parte central de este cuarzo lechoso. Posterior a esta reactivación hubo una mineralización de sulfuros de Fe, Zn, Pb y sulfonales de Ag, acompañados de gangas de calcita, cloritas, pirita, etc.; posteriormente se tuvo etapas sucesivas de mineralización de cuarzo, a una de estas etapas de mineralización corresponde el de la plata y aumento sustancial de pirita en la parte superior, a la cual estaría relacionada la mineralización de oro (electrum).

La secuencia para genética referente a la mineralización Hipógena en el área de Mirtha es como sigue: Especularita, Pirita, Marcasita, Esfalerita, Arsenopirita, Calcopirita, Cobres grises, Galena, Acantita/argentita, Sulfosales de plomo, Sulfosales de plata, Electrum, Covelita.

Lógicamente a esta secuencia de minerales hipógenos suceden las especies secundarias de Ag y Cu, aunque en forma muy restringida.

La mineralización a nivel distrital no se presenta de manera igual para todas las vetas, así tenemos, que las del lado NW de Tambomayo ofrecen casi exclusivamente menas de Au y las del lado Norte y Este constituyen principalmente menas algo menos bajas en valores de Ag, con incremento de Pb y Zn. Existiendo excepciones en ambos casos, que probablemente obedecen a razones estructurales, tal es el caso del extremo Este de la veta Mirtha que ofrece un incremento en minerales de Pb y Zn.

A nivel local también se hace de manifiesto un zoneamiento vertical, con mineralización de Ag hacia superficie, distribuida en una franja horizontal, ligada a valores de Au; luego sigue una zona que muestra una disminución en mineralización de Ag, pero con incremento de Pb y Zn hacia profundidad.

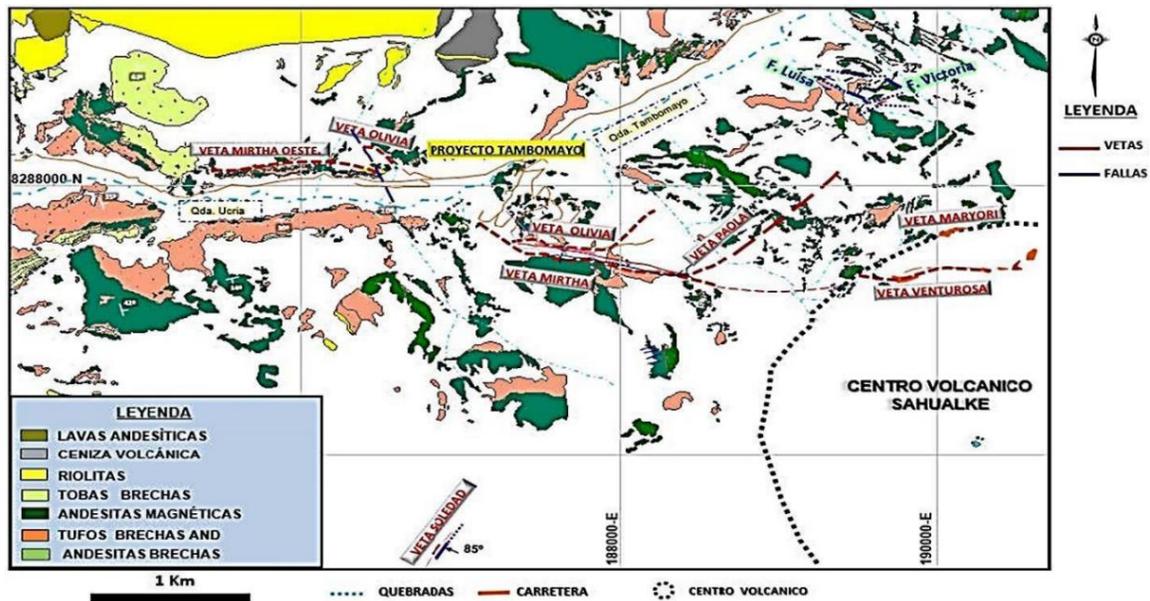
Concluyendo se puede sostener que el zoneamiento vertical, será de la parte superior a la inferior como sigue:

- Superior: Plata - Plomo – Zinc
- Inferior: Oro - Plomo - Zinc. (Calapuja C., 2014).

La producción de mina a un ritmo de 3,000 Tn métricas diarias de minerales como oro, plata, plomo y zinc, 90,000 Tn métricas mensuales y 1'080,000 Tn métricas anuales, según refiere un documento de la propia compañía. (<http://proactivo.com.pe>, 2017).

Figura 34

Mineralogía de la Unidad Minera Tambomayo



Nota. Adaptado del departamento de geología de la Unidad Minera Tambomayo.

7.4. Método de minado de la Unidad Productiva de Tambomayo

El método de explotación que se viene utilizando en la mina Tambomayo es el “banqueo y relleno” (bench & fill – B&F), bajo los siguientes criterios de diseño:

Tabla 31

Consideraciones técnicas para el diseño del método de explotación

Criterios	Condiciones reales
Calidad de rocas encajonantes	De Regular A Mala A, con RMR de 55 a 35
Calidad del mineral	De Regular A Mala A con RMR de 55 a 32.
Buzamiento de la veta	Usual de 70 a 80° y en niveles inferiores 50° a 60°
Potencia de la veta	De 3 a 18 m

Nota. Adaptado del departamento de geología de la Unidad Minera Tambomayo.

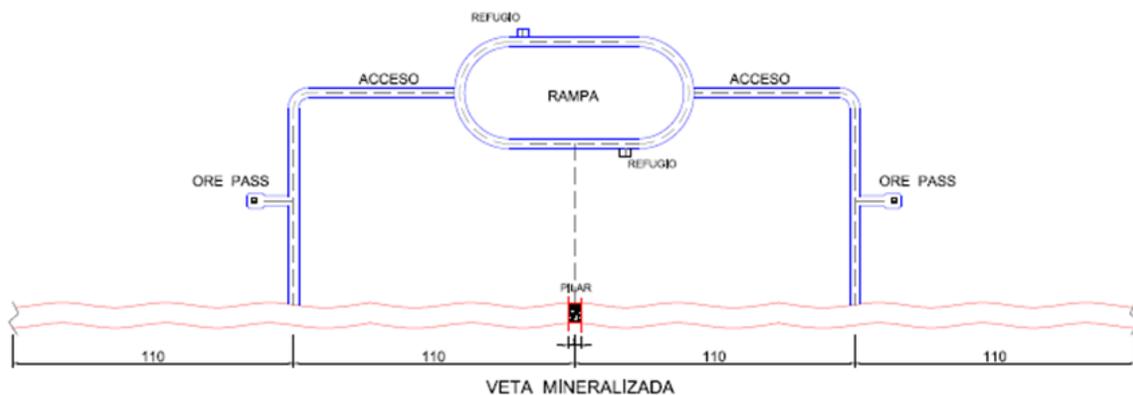
La preparación para la aplicación de este método consiste en construir a partir de las rampas de acceso las siguientes infraestructuras: los bypass de extracción, los cruceros, las ventanas, las galerías, el echadero de mineral (ore pass) y la cámara de carguío.

Cada 100 m de altura, en los niveles con terminación 40, se construye a partir de la rampa 100 un bypass paralelo a la veta, en la caja piso, con sección de 4.0 m x 4.0 m, alejado unos 38 m de la estructura mineralizada, con la finalidad de que sirvan como labor de tránsito de los volquetes de extracción del mineral.

Desde el bypass en los niveles principales, o de la rampa en los subniveles intermedios, se construyen los cruceros o ventanas con sección de 3.5 m por 3.5 m, de orientación perpendicular a la veta, para tener acceso a la estructura mineralizada. Las galerías son labores construidas en el centro de la estructura de las vetas guiándose por las sinuosidades de sus contactos. Las galerías se construyen en los niveles y subniveles para delimitar el banco de producción. Normalmente la sección es de 3.5 m por 3.5 m.

Figura 35

Construcción de las labores de preparación



Nota. Adaptado del Área de Planeamiento de la Unidad Minera Tambomayo.

Figura 36

Esquema de labores de preparación



Nota. Adaptado del Área de Planeamiento de la Unidad Minera Tambomayo.

En cada nivel se construyen chimeneas de transferencia para que se eche mineral de cada uno de los subniveles de explotación y luego sean cargados a volquetes para su evacuación a la planta de procesos existente en superficie.

En los niveles también se construyen en la caja piso adyacente al bypass las cámaras de carguío en forme de “H” para cargar el mineral a los volquetes que transportan a la Planta Concentradora. El carguío se hace con scoops de 4 yd³ y 6 yd³ y los volquetes son de 15 m³ de capacidad, de unas 25 tn|de carga por viaje.

La explotación consiste en arrancar el mineral existente en los bancos de producción delimitados por los subniveles. Las actividades concernientes a la explotación son: perforación, voladura, limpieza de mineral y relleno.

La perforación para producción se realiza con un equipo electrohidráulico Simba en forma vertical y continua en cada subnivel. El espaciamiento de los taladros varía de 1.5 a 1.8 m dependiendo de la potencia de la veta. Para potencias menores de 3 m se utiliza 1.5 m y para potencias mayores de 3.6 m se utiliza espaciamiento de 1.8 m.

La perforación es en forma radial y abarca toda la sección económicamente minable. Cuando la potencia de la veta es mayor de 13 m se procura realizar la explotación por etapas dividiendo la veta en dos paneles longitudinales, luego la perforación también se realiza por etapas.

Para la voladura, el carguío de los taladros se hace con ANFO utilizando como iniciadores sebos de emulsiones enlazados a mangueras explosivas FANEL. El disparo se realiza por tramos cortos de 3 a 4 filas, según sea necesario. Cada veta debe producir diariamente unas 500 toneladas de mineral.

La limpieza del mineral se realiza por el subnivel inferior del tajeo, utilizando scoop de 4 yd³ a control remoto hacia una cámara de acumulación más cercana, de allí se traslada a la chimenea de transferencia o a la cámara de carguío según sea el caso. Para confinar las paredes de las cámaras de explotación se utilizan dos tipos de relleno:

Relleno cementado producido con material detrítico clasificado y mezclado con cemento de tal modo que tenga a los 30 días una resistencia final mínima de 1.8 MPa. Este relleno se utiliza en el nivel principal cada 100 metros, en los niveles inferiores de cada tajeo hasta los 13 m de altura de modo que sirva como techo de seguridad cuando se mine el mineral existente en los subniveles inferiores. Un uso particular del relleno cementado es la construcción de falso pilar de unos 10 m de largo por toda la sección de la veta y 100 m de altura que se hace en la veta Mirtha cada 200 m, con una resistencia de 0.6 MPa a los 30 días, para controlar el relajamiento de la caja techo de esta veta.

Relleno detrítico producto de la excavación de labores de exploración, desarrollo o preparación de la mina que echa a los tajeos|a medida que progresa la rotura del mineral. El spam máximo para mantener la estabilidad del tajeo es de 28 m, distancia que se mantiene

permanentemente a medida que avanza la rotura del banco mineralizado. El relleno se echa por el subnivel superior de cada tajeo por la ventana opuesta al de la limpieza del mineral.

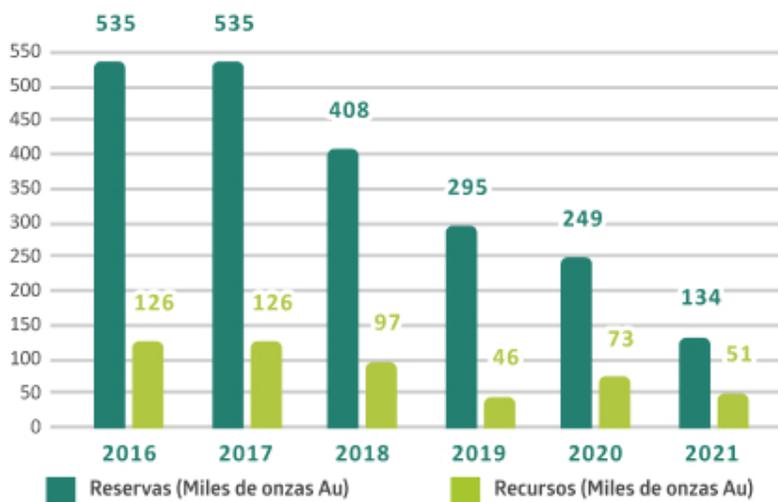
7.5. Reservas y Producción

7.5.1. Reservas

Las reservas calculadas son las siguientes según Buenaventura para la unidad Minera Tambomayo:

Figura 37

Reservas y recursos de la Unidad Minera Tambomayo



Nota. Adaptado de Buenaventura – U.M. Tambomayo.

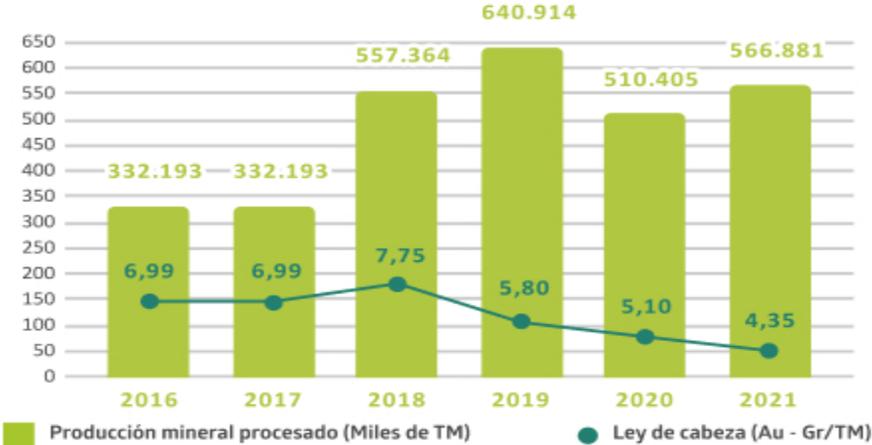
7.5.2. Producción

Las vetas principales del depósito corresponden a los sistemas Mirtha y Paola. El mineral es extraído a través de rampas y el crucero 4840 mediante camiones de 30 toneladas. Los métodos de explotación utilizados son los de corte y relleno ascendente y bench & fil mecanizados con equipos de bajo perfil. Para la ventilación de las labores se cuenta con dos ventiladores principales de 300,000 cfm y ventiladores secundarios para las exploraciones y desarrollos. Para el drenaje de

mina se cuenta con una estación de bombeo de agua, con una capacidad de 60 l/s que evacúa el agua hacia el nivel 4740 para su tratamiento.

Figura 38

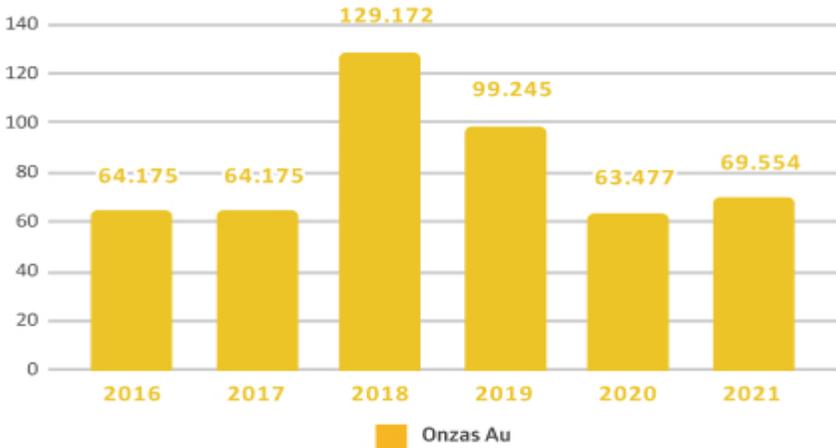
Producción de mineral y ley de cabeza



Nota. Adaptado de Buenaventura – U.M. Tambomayo.

Figura 39

Producción anual



Nota. Adaptado de Buenaventura – U.M. Tambomayo.

8. ANEXO 02: Formato para Reporte de Resultados de Rotura de Testigos o Probetas

	ROBOCON SERVICIOS S.A.C.		CODIGO	REG-GPCC-034
	TITULO:		REV.	0
	RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS SHOTCRETE		PAGINAS	1 de 1

N°	Cliente	Descripcion del diseño de Mezcla	Guia	Codigo de Diseño	Fecha		Edad	Diametro	Area	Carga Maxima (Kg)	Resistencia (kg /cm2) o (Mpa)	Promedio (kg/cm2) o (Mpa)	% f' c
					Vaciado	Rotura							
1													
2													
3													
1													
2													
3													
1													
2													
3													
1													
2													
3													
1													
2													
3													

 Tecnico de Control de Calidad Planta
 Nombre: _____

 Jefe de Planta
 Nombre: _____

9. ANEXO 03: Tabla de Resultados de Rotura de Briquetas

		PLANTA - TAMBOMAYO													
		BUENAVENTURA		ROL DE CALIDAD - PROBETAS SHOTCRETE (4"											
DESCRIPCION DE CONCRETO MUESTREADO				ROTURA A 7 DIAS				ROTURA A 14 DIAS				ROTURA A 28 DIAS			
CLIENTE	RESISTENCIA (Kg/cm²)	UBICACIÓN ENSAYO	EDAD (días)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO Kg/cm2	PROMEDIO MPA	EDAD (días)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO Kg/cm2	PROMEDIO MPA	EDAD (días)	RESISTENCIA (Kg/cm2)	PROMEDIO	RPROMEDIO MPA	
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	296	296	29	14	421	419	41	28	478	484	47	
				296				425				477			
				296				411				498			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	289	288	28	14	420	423	41	28	493	500	49	
				287				425				497			
				288				424				508			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	299	297	29	14	397	386	38	28	484	488	48	
				297				376				490			
				296				386				491			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	324	342	33	14	402	402	39	28	475	479	47	
				352				402				480			
				349				402				482			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	349	360	35	14	388	391	38	28	494	500	49	
				381				387				493			
				349				399				515			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	353	351	34	14	388	390	38	28	512	510	50	
				349				392				516			
				351				391				502			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	330	326	32	14	402	407	40	28	513	512	50	
				323				416				513			
				325				401				512			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	326	328	32	14	407	411	40	28	518	515	50	
				334				413				510			
				323				413				515			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	357	350	34	14	387	386	38	28	511	509	50	
				350				390				512			
				342				383				504			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	333	331	32	14	387	389	38	28	502	501	49	
				337				390				500			
				322				389				502			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	346	341	33	14	469	467	46	28	513	502	49	
				336				462				498			
				341				470				495			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	373	389	38	14	432	439	43	28	450	462	45	
				385				447				465			
				408				439				472			
DL	280	LABORATORIO	7	335	351	34	14	#i DIV/0!	#i DIV/0!	#i DIV/0!	28	468	472	46	
				360				#i DIV/0!				474			
				358				#i DIV/0!				474			
DL	280	LABORATORIO	7	363	366	36	14	#i DIV/0!	#i DIV/0!	#i DIV/0!	28	538	548	54	
				375				#i DIV/0!				566			
				359				#i DIV/0!				539			
DL	280	LABORATORIO	7	405	406	40	14	#i DIV/0!	#i DIV/0!	#i DIV/0!	28	502	504	49	
				412				#i DIV/0!				503			
				402				#i DIV/0!				508			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	340	338	33	14	472	473	46	28	507	504	49	
				345				464				501			
				330				483				505			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	328	318	31	14	442	439	43	28	519	510	50	
				318				431				508			
				309				444				502			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	363	361	35	14	405	405	40	28	482	486	48	
				359				408				493			
				361				403				482			
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	377	371	36	14	397	399	39	28	503	502	49	
				363				400				500			
				373				399				501			

BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	281	284	28	14	381	407	40	28	500	499	49
				282				426				497		
				288				414				500		
				364				431				499		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	376	374	37	14	424	432	42	28	499	499	49
				382				440				498		
				371				443				505		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	362	366	36	14	450	447	44	28	510	507	50
				366				449				507		
				372				420				502		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	371	372	36	14	412	418	41	28	500	500	49
				372				422				500		
				359				426				509		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	349	355	35	14	421	421	41	28	508	509	50
				355				417				509		
				336				423				501		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	334	336	33	14	425	424	42	28	503	502	49
				337				424				502		
				312				375				536		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	316	311	30	14	373	374	37	28	559	555	54
				305				375				570		
				295				385				550		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	311	305	30	14	375	379	37	28	545	548	54
				309				376				549		
				311				386				571		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	307	310	30	14	384	383	38	28	553	560	55
				312				379				556		
				304				385				514		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	311	306	30	14	386	384	38	28	532	531	52
				303				382				546		
				309				390				512		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	310	310	30	14	384	381	37	28	508	513	50
				311				380				519		
				314				401				503		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	313	313	31	14	391	400	39	28	519	516	51
				312				410				524		
				308				376				501		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	312	309	30	14	375	376	37	28	501	501	49
				309				375				501		
				313				380				502		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	312	312	31	14	377	382	37	28	503	503	49
				311				390				504		
				328				383				500		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	325	326	32	14	381	383	38	28	500	500	49
				326				385				501		
				325				378				503		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	326	325	32	14	380	378	37	28	501	502	49
				326				376				501		
				368				416				500		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	363	366	36	14	426	415	41	28	500	500	49
				366				404				499		
				334				453				501		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	334	333	33	14	433	445	44	28	503	502	49
				333				449				503		
				336				416				499		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	330	333	33	14	402	406	40	28	499	499	49
				332				400				499		
				333				398				501		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	330	330	32	14	381	406	40	28	503	502	49
				326				440				501		
				328				454				502		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	327	326	32	14	387	435	43	28	499	501	49
				325				465				502		
				326				404				499		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	325	326	32	14	384	402	39	28	498	499	49
				326				419				499		
				328				376				520		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	335	330	32	14	376	376	37	28	521	522	51
				326				377				526		
				315				375				516		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	323	327	32	14	376	376	37	28	517	514	50
				344				377				511		
				313				375				496		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	314	314	31	14	375	375	37	28	512	505	50
				315				375				508		
				290				376				512		
BUENAVENTURA	280	PLANTA	7	301	296	29	14	376	376	37	28	525	511	50
				297				377				498		

10. ANEXO 04: Matriz de Consistencia

“EVALUACIÓN DEL AGREGADO DE LA CANTERA MOLLOCO EN LA PRODUCCION DE SHOTCRETE PARA EL CRUCERO CX045NE DE LA UNIDAD PRODUCTIVA TAMBOMAYO – AREQUIPA”				
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Metodología
¿Cuáles serán las características del agregado de la Cantera Molloco en la producción de Shotcrete para el Crucero CX045NE de la Unidad Productiva Tambomayo – Arequipa?	Evaluar las características del agregado de la Cantera Molloco en la producción de Shotcrete para el Crucero CX045NE de la Unidad Productiva Tambomayo – Arequipa.	Las características del agregado de la cantera Molloco en la producción de Shotcrete para el Crucero CX045NE de la Unidad Productiva Tambomayo – Arequipa, se encuentran dentro de los parámetros de las normas.		
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Especificas	Variable Independiente	Tipo de Estudio
¿Cuál será el diseño de mezcla con el agregado de la cantera Molloco en la producción de Shotcrete para el Crucero CX045NE?	Determinar el diseño de mezcla con el agregado de la cantera Molloco en la producción del shotcrete para el Crucero CX045NE.	El diseño de mezcla es el adecuado con el agregado de la cantera Molloco en la producción de shotcrete para el Crucero CX045NE.	Agregado de la Cantera Molloco.	Es un estudio de alcance descriptivo y aplicativo, ya que el propósito del presente proyecto de investigación es evaluar las características del agregado de la cantera Molloco.
¿Cuáles serán las resistencias del shotcrete con el agregado de la cantera Molloco?	Determinar las resistencias del shotcrete con el agregado de la Cantera Molloco.	Las resistencias del shotcrete con el agregado de la cantera Molloco son aceptables por el departamento de geomecánica de la Unidad Productiva Tambomayo	D.1 Diseño de mezcla	Población y Muestra
¿Cuál será el costo de aplicación del shotcrete con el agregado de la cantera Molloco para el Crucero CX045NE?	Determinar el costo de la aplicación del shotcrete con el agregado de la Cantera Molloco para el Crucero CX045NE.	Es viable el costo de aplicación del shotcrete con el agregado de la Cantera Molloco para el Crucero CX045NE.	Variable Dependiente	El universo de la población está representado por Unidad Productiva de Tambomayo.
			Producción de Shotcrete para el crucero CX045NE.	La muestra:
			D.1 Volumen de Shotcrete	La muestra representativa es el Crucero CX045NE de la Unidad Productiva Tambomayo.