

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO

ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y
METALURGICA.

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS.



TESIS:

**“SELECCIÓN DE FIBRAS Y DISEÑO PARA SHOTCRETE EN
LA CONSTRUCCIÓN DEL BY PASS DEL NIVEL 4540 EN LA
U.P. TAMBOMAYO – AREQUIPA”**

Presentado por:

**Bachiller ABRAHAN CANDIDO CARPIO
MEDRANO**

Para optar el Título Profesional de: **INGENIERO
DE MINAS**

Asesor:

Ing. JUAN FRANCISCO MELENDEZ NINA

Cusco – Perú

2021

DEDICATORIA

A mis queridos padres: Candido Carpio y Nely Medrano; quienes con amor son el apoyo incondicional y como muestra de gratitud, por la invaluable ayuda en mi formación y logro de mis aspiraciones

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser el único ser omnipotente que me dio la vida, por ser mi fortaleza y guía en el sendero de mi existencia

A mí querida familia, primeramente, a mis padres y esposa quienes me apoyaron en todo momento, quienes estuvieron en el dolor y regocijo. A mis muchos amigos con los que vamos juntos en el camino de la vida y su apoyo ético en la elaboración del presente trabajo de tesis.

A mi Alma Máter, “Universidad Nacional de San Antonia abad del cusco, a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y metalurgia”, en especial a la “Escuela Profesional de Ingeniería de Minas” por permitir mi formación profesional en sus aulas. Asimismo, mi agradecimiento a todos los catedráticos de ésta casa de estudios académicos que con sus enseñanzas me dieron la ética y el conocimiento para conseguir el anhelo de mi profesión. A los profesionales de la Empresa ROBOCON S.A.C de la Unidad Minera Tambomayo por darme la oportunidad de desarrollar el presente trabajo de tesis y por confiar en mis conocimientos para contribuir en los propósitos de la Empresa dentro de la actividad minera.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se desarrolla la evaluación de las resistencias tempranas del “shotcrete” lanzado por vía húmeda en el By Pass NV 4540 de la U.P Tambomayo, donde se refieren los resultados en los capítulos siguientes:

En el capítulo I, se desarrolló el planteamiento del problema de la investigación, así como es el problema general, problemas específicos, también los objetivos generales y específicos, la justificación, hipótesis general y específica de acuerdo a las variables e indicadores identificados en la investigación.

En el capítulo II, se desarrollan los antecedentes de investigación y las bases teóricas con las que se desarrollara la investigación.

En el capítulo III, se desarrolló el diagnóstico del ámbito del estudio, tanto geológico, minero y geomecánico, viendo la clasificación de roca y los mapeos geomecánicos del By Pass del NV 4540 de la U.P de Tambomayo.

En el capítulo IV, se desarrolla la evaluación y procedimiento del estudio, este siendo la caracterización del By Pass NV 4540, la selección del tipo de sostenimiento, tanto el perímetro de la sección, la longitud del By Pass y el espesor de shotcrete que se lanza para el sostenimiento; también se desarrolla el diseño de mezcla del shotcrete con fibra sintética y metálica, el procedimiento de obtención de las muestras para los ensayos de las resistencias tempranas.

En el capítulo V, se realiza el análisis de los resultados obtenidos sobre resistencias tempranas del shotcrete con el método de disparo de clavos con pistola Hiltin DX 450; también se realiza la evaluación de la diferencia de costos del lanzado de shotcrete con fibra sintética y metálica, como el análisis de la evaluación de la resistencia del shotcrete a los 28 días de edad, el cual debe cumplir la exigencia del área de Geomecánica.

Finalmente, se desarrollan la conclusión de y recomendación de acuerdo a la hipótesis y objetivos planteados en la investigación.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	iv
INDICE DE CONTENIDO	v
Índice de Tablas.....	viii
Índice de Figuras	ix
Índice de Imágenes	x
RESUMEN	xi
CAPITULO I.....	12
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. Planteamiento del problema	12
1.2. Formulación del problema.....	13
1.2.1. Problema general	13
1.2.2. Problemas específicos.....	13
1.3. Objetivos de la investigación.....	13
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2. Objetivos específicos.....	13
1.4. Justificación de la investigación	14
1.5. Hipótesis de la investigación	14
1.5.1. Hipótesis general	14
1.5.2. Hipótesis específicas.....	14
1.6. Variables e indicadores.....	14
1.6.1. Variables.....	14
1.6.2. Operacionalización de las variables	15
1.7. Metodología de la investigación.....	15
1.7.1. Tipo de investigación.....	15

1.7.2. Nivel de investigación	15
1.7.3. Población y muestra.....	16
1.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
1.9. Procesamiento y análisis de datos.	17
CAPITULO II:.....	18
II. MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2.1. Antecedentes de la investigación.....	18
2.1.1. Reseña histórica.....	18
2.1.2. Antecedentes internacionales	18
2.1.3. Antecedentes nacionales.....	19
2.2. Bases teóricas	20
2.2.1. Labores mineras.....	20
2.2.2. Shotcrete.....	22
2.2.3. Diseño de mezcla.....	35
2.2.4. Rebote.....	39
2.2.5. Calculo área de sostenimiento.	41
2.2.6. Método de medición de la resistencia temprana.....	42
2.3. Definición de términos básicos.....	52
CAPITULO III:.....	52
III. DIAGNÓSTICO DEL ÁMBITO DE ESTUDIO Y OPERACIONES MINERAS	53
3.1. Aspectos generales del ámbito del estudio	53
3.1.1. Ubicación Geográfica.....	53
3.1.2. Clima	53
3.2. Descripción de la U.P. Tambomayo.....	54
3.2.1. Geología.....	54
3.2.2. Minería.....	58

3.3. Geomecánica de la U.P. Tambomayo	70
3.3.1. Clasificación de rocas	70
3.3.2. Mapeo Geomecánico del área de estudio By Pass NV 4540	75
CAPITULO IV:	79
IV. EVALUACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....	79
4.1. Características técnicas del área de estudio BYPASS NV 4540	79
4.2. Selección del tipo de sostenimiento.....	80
4.2.1. Características geomecánicas de la Zona	80
4.2.2. Parámetros de selección.....	80
4.2.3. Selección del tipo de sostenimiento aplicable	82
CAPITULO V:	96
V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	96
5.1. Análisis del aspecto técnico.....	96
5.1.1. Ensayo de resistencia temprana con fibra sintética	96
5.1.2. Ensayo de resistencia temprana con fibra metálica	103
5.2. Análisis del aspecto económico.....	112
5.2.1. Costo Unitario de shotcrete con fibra sintética.....	112
5.2.2. Costo Unitario de shotcrete con fibra metálica	112
5.2.3. Diferencias de costos	112
5.3. Análisis del aspecto de seguridad.....	114
CONCLUSIONES.....	116
RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	118
WEBGRAFÍA	119
ANEXOS	120
ANEXO 1: Plano de ubicación del BY PASS.....	121
ANEXO 2: Plano de progresivas y estación geomecánica.....	122

ANEXO 3: Matriz de consistencia	123
---------------------------------------	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de las variables	15
Tabla 2: Resistencia a la rotura f y relación agua cemento a/c	35
Tabla 3: Relaciones cemento/agregados para diferentes resistencias y usos	39
Tabla 4: Causas y origen del rechazo.	39
Tabla 5: Acceso a la U.M. Tambomayo	53
Tabla 6: Recursos de Tambomayo	58
Tabla 7: Personal por división de la U.P. Tambomayo	68
Tabla 8: Maquinaria y equipo de la UM Tambomayo	69
Tabla 9: Parámetros de Clasificación del Sistema RMR.....	70
Tabla 10: Resultados de los Índices y Calidad del Macizo Rocoso por cada Dominio Estructural.....	73
Tabla 11: Mapeo Geomecánico Estación 054-ByPass 4540	75
Tabla 12: Mapeo Geomecánico Estación 056-ByPass 4540	76
Tabla 13: Mapeo Geomecánico Estación 058-ByPass 4540	77
Tabla 14: Mapeo Geomecánico Estación 060-ByPass 4540	78
Tabla 15: Características geomecánicas del By Pass NV-4540	80
Tabla 16: Cuadro de estimación de sostenimiento a partir de RMR.....	83
Tabla 17: Características de arena Mollocco.....	84
Tabla 18: Cantidad de componentes de shotcrete con fibra sintética.....	88
Tabla 19: Cantidad de componentes de shotcrete con fibra metálica.....	88
Tabla 20: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra sintética 1.....	97
Tabla 21: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra sintética 2.....	98
Tabla 22: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra sintética 3.....	99
Tabla 23: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra sintética 4.....	100
Tabla 24: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra sintética 5.....	101
Tabla 25: Resumen de los ensayos de resistencia a la compresión	103
Tabla 26: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra metálica 1	104
Tabla 27: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra metálica 2	106
Tabla 28: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra metálica 3	107
Tabla 29: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra metálica 4	109

Tabla 30: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra metálica 5	110
Tabla 31: Resumen de los ensayos de resistencia a la compresión	111
Tabla 32: Análisis de costo unitario de shotcrete con fibra sintética	112
Tabla 33: Análisis de costo unitario de shotcrete con fibra metálica	112
Tabla 34: Control de calidad y seguridad del shotcrete con fibra sintética.....	114
Tabla 35: Control de calidad y seguridad del shotcrete con fibra metálica.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sección transversal de esquema de mina subterránea.....	20
Figura 2: Bypass	21
Figura 3: Labor de explotación - Tajeos.....	21
Figura 4: Shotcrete vía seca.....	23
Figura 5: Shotcrete vía húmeda	24
Figura 6: Robot lanzador Alpha 20	25
Figura 7: Mixkret 4.....	27
Figura 8: Fibra metálica Macaferri.....	32
Figura 9: Fibra sintética Myphor	33
Figura 10: Influencia del ángulo de proyección y la distancia respecto al rebote.....	40
Figura 11: Sección transversal típica de labor.....	41
Figura 12: Modelo de wireframe de las vetas del proyecto minero Tambomayo	57
Figura 13: Reservas y recursos de Au de la U.P. Tambomayo	59
Figura 14: Producción de mineral y ley de cabeza	60
Figura 15: Corte y relleno ascendente	61
Figura 16: Bench and fill	61
Figura 17: Jumbo RAPTOR 442R – Montabert-HC95	63
Figura 18: SIMBA E7.....	63
Figura 19: Emulsión - EMULEX	65
Figura 20: ANFO - EXAMON	65
Figura 21: Scooptram CAT	67
Figura 22: Volvo FMX 440	67
Figura 23: Análisis Estadístico de los Valores de RMR para la Veta Paola	71
Figura 24: Análisis Estadístico de los Valores de RMR para la Veta Paola_Techo	71
Figura 25: Análisis Estadístico de los Valores de RMR para la Veta Paola_Norte_2 ...	72

Figura 26: Análisis Estadístico de los Valores de RMR para la Veta Paola_Techo_Norte_2	72
Figura 27: Sección típica del By Pass Nv 4540.....	79
Figura 28: Ubicación de estaciones de mapeo geomecánico	80
Figura 29: Resultado de Gradación 2 – Para producción de shotcrete con Arena Mollocco	84
Figura 30: Ensayo de panel de sección cuadrada	91

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Cantera de Arena Mollocco.....	85
Imagen 2: Depósitos de cemento en planta	85
Imagen 3: Llenado del cono de Abrams y medición del Slum con el concreto fresco .	89
Imagen 4: Concreto fresco para el lanzado	90
Imagen 5: Lanzado del concreto fresco en la labor a los paneles de ensayo.....	91
Imagen 6: Llenado de paneles de ensayo de shotcrete	92
Imagen 7: Ensayo de resistencia temprana con pistola Hitin y clavos de 110mm.....	93
Imagen 8: Vista de los Clavos en el panel de shotcrete.....	93
Imagen 9: Medición de longitud de penetración del clavo.....	94
Imagen 10: Medición de carga de tracción de clavos.....	95

RESUMEN

El presente trabajo investigativo fue llevado a cabo con el objetivo el poder analizar la evaluación correcta de las resistencias tempranas del shotcrete lanzado por vía húmeda, para alcanzar las condiciones mínimas que exige la U.P. de Tambomayo de la Compañía BUENAVENTURA, con el fin de garantizar la seguridad de las actividades desarrolladas, que garantizan la explotación del mineral.

Para la correcta evaluación del shotcrete de sus resistencias tempranas, se debe primeramente diseñar la mezcla del shotcrete con los materiales de la zona, como es la cantera de Mollocco de donde se produce la arena, el cemento Yura HE industrial, los aditivos y acelerante, y la fibra que se evalúa, tanto sintética como metálica, de las marcas, Myphor y Maccaferry respectivamente, donde estos materiales son mezclados y posteriormente para ser utilizados en las labores a condiciones normales, para luego hacer los ensayos correspondientes.

Para la realización de los ensayos de resistencias tempranas se utilizó la pistola Hiltin DX 450, con clavos de 110mm de longitud, estos ensayos se realizaron a las 4 horas de lanzado el shotcrete, por lo que se midió la penetración de los clavos dentro de shotcrete fragua, con lo que se obtuvo los resultados indistintos, tanto para shotcrete con fibra sintética como para shotcrete con fibra metálica.

Para el análisis de seguridad del shotcrete, este se realizó la prueba de compresión a las probetas de shotcrete con una edad de 28 días, para medir la resistencia alcanzada, y poder verificar de acuerdo a la exigencia del Área de Geomecánica de la U.P Tambomayo.

A partir de los datos recolectados se llegó a la conclusión que el shotcrete con fibra sintética actúa de similar manera con la fibra metálica, alcanzando los 4.09 Mpa a las cuatro horas de fraguado y 48 Mpa a los 28 días de edad, por lo que satisface las exigencias del Área de Geomecánica de la U.P de Tambomayo.

CAPITULO I

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El concreto proyectado – “shotcrete” es un material empleado a nivel mundial para obras de construcción, particularmente en proyectos de túneles y desarrollos subterráneos, el amplio uso de este material es atribuido a sus capacidades de soporte además de la elevada resistividad que puede lograr en un corto periodo. Las propiedades que presenta provienen del fraguado rápido el cual aporta desarrollo rápido de rigidez, esto es logrado mediante aditivos acelerantes incorporados, en dosificaciones proporcionadas.

El estudio de las resistencias tempranas del concreto proyectado - shotcrete está directamente relacionado con el trabajo logístico y la seguridad dentro de la construcción, pues como es bien sabido, para avanzar en estas construcciones hay una relación dependiente muy cercana entre el tiempo que toma al hormigón alcanzar la resistencia requerida para evitar derrumbes en los proyectos y crear una estructura segura para el ingreso del personal al área en ejecución.

Actualmente, la U.P Tambomayo, se realizan las mediciones de resistencia temprana del concreto proyectado – shotcrete según la Norma UNE-EN14488-2, la que consta de dos métodos para la determinación de resistencia temprana, el primero de ellos es el Penetrómetro de aguja, este es efectivo para resistencias a compresión de 0.2 hasta 1.2MPa, y el segundo método corresponde al de “Hincado de clavos” aplicado en resistencias a partir de 3 hasta los 16 MPa, el cual se realiza con la Pistola de Hilti. Ambos métodos son indirectos, pues obtienen el valor de “resistencia a la compresión del shotcrete” a partir de otra propiedad del “shotcrete” y mediante ecuaciones entregadas por los fabricantes de los equipos, se llega al parámetro buscado. En el caso del método de “hincado de clavos” este es obtenido partiendo de la penetración del clavo además de la fuerza de extracción del mismo. Para resistencias mayores a 16MPa o pasada las 24 horas desde la proyección del hormigón, se permite extracción de testigos y medición de compresión.

El motivo del presente trabajo de investigación es el de reducir el costo de la aplicación del shotcrete haciendo el uso de fibra metálica o fibra sintética, las cuales deben alcanzar

una resistencia temprana de 4 Mpa a las 4 horas de lanzado el shotcrete, este parámetro es el solicitado por el Área de Geomecánica de la U.P Tambomayo, para lo cual se debe realizar el diseño de mezcla para ambas fibras indistintamente, evaluar las resistencias tempranas del shotcrete lanzado y calcular sus costos de aplicación.

De ahí la necesidad de realizar la investigación para el uso de fibras metálica o sintética en el shotcrete y que se reduzcan los costos de aplicación del shotcrete en el By Pass del nivel 4540 en la U.P Tambomayo – Arequipa.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo lograr la aplicación del shotcrete con fibra metálica o sintética en el sostenimiento del By Pass NV 4540, que implique menor costo que satisfaga las condiciones geomecánicas de la U.P. Tambomayo – Arequipa?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es diseño de mezcla del shotcrete para las fibras metálica o sintética?
- ¿Cuál son las resistencias tempranas del shotcrete con las fibras metálica o sintética?
- ¿Cuál es el costo de la aplicación de shotcrete con fibra metálica o sintética?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Determinar el costo unitario del shotcrete con la aplicación de la fibra apropiada que satisfaga las condiciones geomecánicas del By Pass del nivel 4540 en la U.P Tambomayo – Arequipa

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el diseño de mezcla en el shotcrete con fibra metálica o sintética.
- Determinar las resistencias tempranas del shotcrete lanzado con fibra metálica o sintética.
- Determinar el costo de aplicación de shotcrete con fibra metálica o sintética.

1.4. Justificación de la investigación

Las empresas mineras requieren una amplia planificación de sus operaciones, porque resulta fundamental que cada equipo, material e insumo se encuentre a disposición en el momento indicado.

Las empresas mineras, así como las de servicio deben de contar con una adecuada información sobre la aplicación de las fibras metálica o sintética y que estas como influyen en su variación de resistencia y costo de aplicación.

Siendo así que se planteó esta indagación a partir del estudio de las resistencias tempranas para garantizar la condición geomecánica del sostenimiento del By Pass NV 4540, la cual debe ser sostenida con shotcrete y que este alcance una resistencia de 4 Mpa a las 4 horas, como también debe ser económicamente rentable tanto para la Empresa Minera, como para la empresa que brinda el servicio Robocon SAC.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

- Con la selección apropiada del tipo de fibra metálica o sintética para el shotcrete como sostenimiento, se podrá lograr reducir los costos y satisfacer las condiciones geomecánicas del By Pass NV 4540 en la U.P. Tambomayo – Arequipa.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Se logrará determinar el diseño de mezcla en el shotcrete con fibra metálica o sintética.
- Se logrará determinar las resistencias tempranas del “shotcrete” con fibra metálica o sintética con el uso de la Pistola Hilti.
- Se logrará determinar el costo de aplicación de shotcrete con fibra metálica o sintética.

1.6. Variables e indicadores

1.6.1. Variables

1.6.1.1. 8.1. Variable independiente (X)

- “Calidad de roca”

- Tipo de sostenimiento
 - Fibra metálica
 - Fibra sintética
- Diseño de mezcla
- Resistencia
- Costo

1.6.1.2. 8.2. Variable dependiente (Y)

- Sostenimiento

1.6.2. Operacionalización de las variables

Tabla 1: Operacionalización de las variables

Variable	Descripción	Indicadores
Dependiente	Sostenimiento	Mpa
Independientes	Calidad de roca Tipo de sostenimiento <ul style="list-style-type: none"> • Fibra metálica • Fibra sintética Diseño de mezcla Resistencia Costo	RMR Kg, gr Kg, gr Kg/cm ² Mpa S/m ³

“Fuente: Elaboración propia”

1.7. Metodología de la investigación

1.7.1. Tipo de investigación

Este proyecto de grado aplica el “enfoque cualitativo no experimental”, puesto que se realizará sin manipular intencionadamente las variables. Basándose en estudios donde no hay una variación deliberada de las variables independientes para observar el efecto que presenta en variables dependientes (Hernandez, 2016).

1.7.2. Nivel de investigación

“El nivel de investigación” responde al proyecto de investigación basándose en el análisis descriptivo, el cual tiene la finalidad de plantear propiedades y características de

conceptos, fenómenos, variables o hechos en un contexto determinado. “Este se aplica para demostrar exactamente los enfoques o aspectos de fenómenos, sucesos, comunidades, contextos o situaciones”. (Hernandez, 2016).

1.7.3. Población y muestra

1.7.3.1. Población

Como “población objetiva” de este proyecto de investigación se toma la Unidad Productiva de Tambomayo, para el sostenimiento mediante shotcrete reforzado con fibra.

1.7.3.2. Muestra

Para la determinación de la muestra tomaremos las labores de producción de la Unidad productiva de Tambomayo.

1.7.3.2.1. Tipo de muestra

Se seleccionó un tipo de muestra no probabilística, debido a que la data arrojada por la investigación fue generada en base al criterio del investigador, en el momento de ejecución de los “instrumentos de recolección de datos”; se asumió una táctica de selección enfocada en las características y contexto de la investigación. (Hernandez, 2016).

El tipo de muestra estará constituida en el ByPass del Nivel 4540 de la U.P. de Tambomayo.

1.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó de acuerdo a la naturaleza del estudio, según las posibilidades de acceso a esta data, teniendo en cuenta el tamaño de la población, los recursos con los que se cuenta y la oportunidad para la obtención de los datos.

Estos fueron recolectados según el análisis de datos y la observación no experimental.

Análisis datos: Esta técnica de la obtención de datos se realiza de la fuente primaria del cual se recolectará las variables de interés para la presente investigación.

Observación no experimental: Sera con el fin de ahondar en el conocimiento de la conducta de la exploración.

1.9. Procesamiento y análisis de datos.

Una vez recolectada la data, esta será procesada según el análisis del uso de fibras en el shotcrete, así como la evaluación económica que se plantea en la investigación, para obtener los resultados que se requieren para el estudio de datos .

Para el análisis de los datos, se evaluó los datos, tanto estos serán desarrollados gráficamente para identificar las tendencias y los patrones que de algún modo no estaría claros. Para el caso de la investigación se utilizará hojas de cálculos Excel, diseño de planos en Autocad, para analizar los datos recolectados .

CAPITULO II:

II. MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Reseña histórica

En 1907, Carl Ethan Akeley, aportó uno de los primeros saltos para la industria del “hormigón proyectado” con la invención de un equipo especial con origen en U.S.A. El funcionamiento de esta maquinaria facilito aplicar materiales secos de forma neumática, agregando agua a la salida.

Para 1910 basados en el diseño de Akeley se diseñó y comenzó a emplear una pistola de cemento con cámara doble . La noción de “Gunita” se refería a una estructura de mortero empleado en América del Norte para la década de los veinte, cuya función era ser una protección contra el fuego ante piques mineros. Fue en el inicio de los años treinta que apareció el concepto universal de “Shotcrete”, el cual fue masificado por la “American Railway Engineering Association” (“Asociación Americana de Ingenieros de Ferrocarriles”), con el fin de explicar cómo se realiza el “gunitado”. Para 1966, el ACI (Instituto Americano del Hormigón) incorporo el concepto de “Shotcrete” para determinar la aplicación neumática de mortero y hormigón conteniendo tanto la vía húmeda como la seca.

El “hormigón proyectado en vía húmeda” fue empleado a partir de 1955. Sin embargo fue a finales de la década de los sesenta que surgen los equipos operados a distancia . El avance del hormigón marco un hito en 1971 con el empleo de las primeras fibras metálicas en Norte América, y unos años más tarde para 1977 en Noruega se comienza a utilizar fibras metálicas además de equipos por control a distancia de forma masiva.

Hoy en día el shotcrete es usado para el sostenimiento de las labores mineras, por lo que este material demanda un alto costo y se necesita desarrollar diseños de la mezcla para alcanzar las resistencias tempranas exigidas por el área de Geomecánica.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Título: Tesis - “Determinación de resistencia temprana de hormigón proyectado: correlación entre método normado UNE-EN14488-2 y método alternativo”

Autor: Christian Ignacio Linares Pipón

Conclusión: Como se pudo ver a lo largo del informe, el “hormigón proyectado”, consta de hormigón de características especiales, pues presenta requisitos de consideración

específicas en comparación a otros hormigones convencionales. Estas consideraciones se refieren a que este material debe ser dosificado en concordancia a lo especificado por el proyecto, de igual manera este debe cumplir con los valores de resistencias tempranas. Aunado a ello, un punto central directamente ligado al óptimo desempeño del hormigón proyectado es la colocación, proceso en el cual usualmente se produce la mayoría de los inconvenientes que inciden de forma directa a las propiedades resistivas del mismo.

Se obtuvo un coeficiente de correlación de 0,89 con la regresión lineal y de 0,93 con el coeficiente de Pearson, estos valores nos indican que efectivamente existe una correlación considerable entre el método alternativo y el método normado, y que esta correlación es lineal. Estos valores son considerables dada la importancia que tenía poder encontrar la correlación entre los métodos, es más, los resultados aquí obtenidos serán de mucha utilidad para la industria del hormigón proyectado.

Con lo dicho anteriormente se puede verificar que el método “Method Statement Shotcrete Testing” es un método alternativo al método UNE-EN14488-2, el que obtiene resistencias en el rango en el que el método normado no obtiene valores, lo que implica un mejor conocimiento de las resistencias prematuras del hormigón proyectado, y, por ende, una mayor seguridad en construcción y una mayor eficiencia de avance en obra. También es muy importante reiterar que el método alternativo es una abreviación del método normado, por lo que utilizar el método alternativo facilita enormemente la toma de datos para la obtención de resistencias a compresión, y, dada la correlación demostrada, se puede llegar fácilmente a los resultados que se deberían obtener en el método normado mediante la ecuación, dicha ecuación es el resultado más importante del trabajo realizado pues es la fórmula de correlación entre los métodos.

2.1.3. Antecedentes nacionales

Título: Tesis – “Generación de una curva de tendencia de la pistola HILTI para el control de resistencias tempranas de shotcrete en minería subterránea”.

Autor: Aricely Sanchez Gomez; Luis Orlando Tapia Vallejos

Conclusión: Se realizó el control de resistencias rápidas aplicando la “Pistola Hilti” para excavaciones bajo tierra. Comprobando “in-situ” que el gráfico curvo de comportamiento es confiable para determinar firmezas rápidas del Shotcrete; por lo tanto es posible de exceptuar al extractor de pernos. Con el fin de constatar que las resistencias a compresión distintivas de los paneles son de confianza, se aplicaron pruebas con la máquina diamantina.

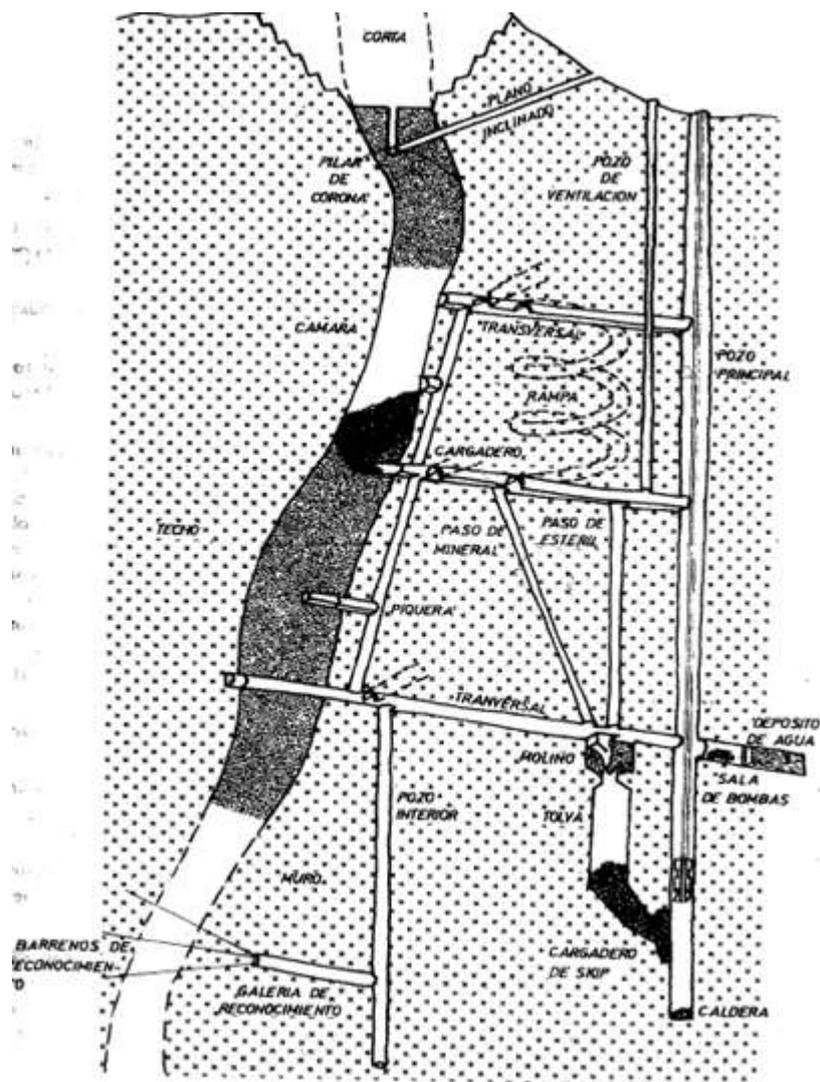
2.2. Bases teóricas

2.2.1. Labores mineras

2.2.1.1. Labores de preparación y desarrollo

Para preparar una mina es necesario precisar el tipo de trabajos de acceso al terreno bajo tierra, pues es posible indicar dichas actividades con: “un pique, chimenea, una galería inclinada o por medio de rampas”. Las labores de desarrollo son las que acceden al mineral para ser extraído, las que son galerías de acceso, cruceros y Bypass.

Figura 1: Sección transversal de esquema de mina subterránea

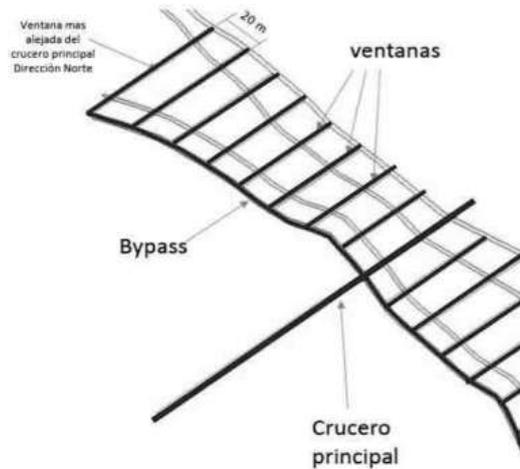


Fuente: “Diseño de explotaciones e infraestructuras mineras subterráneas”

2.2.1.2. *BY PASS*

Terminología en inglés, que se define como entrada estrecha, horizontal que se hace como desvío en una labor de desarrollo para acceder a los cuerpos mineralizados, dentro de la minería subterránea.

Figura 2: Bypass

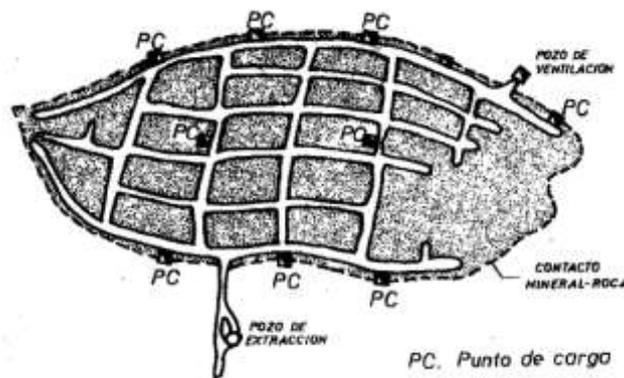


Fuente: Saravia I. (2018)

2.2.1.3. *Labores de explotación*

Son labores donde se explotan y extraen los minerales económicos, las cuales son como tajeos. El cual delimita una serie de secciones a las cuales corresponde un diseño de explotación.

Figura 3: Labor de explotación - Tajeos



Fuente: Diseño de explotaciones e infraestructuras mineras subterráneas

2.2.1.4. *Sostenimiento.*

El sostenimiento en minería subterránea es parte del trabajo minero que puede incidir en la velocidad y producción de la mina. Por lo que realizarlo de la mejor manera y con buen criterio, contribuye a incrementar la seguridad en las labores.

El grupo de elementos que son instalados en el periodo de acción de una actividad subterránea con el fin de compensar desequilibrios causados por los esfuerzos de socavar en el sólido rocoso, tienen la tarea de brindar estabilidad a la tarea y certificar el bienestar de los trabajadores e instrumentaria.

2.2.1.4.1. Tipos de sostenimiento.

- Sostenimiento activo
- Sostenimiento pasivo

2.2.2. Shotcrete.”

El término “shotcrete” se refiere a la aplicación neumática por inyección de alta velocidad de materiales como “hormigón” o “mortero”, este se conforma de componentes áridos, cemento y agua, es común integrar esto con materia fina para aumentar sus propiedades como aditivos sintéticos y fibras metálicas.

El proceso de aplicación de “shotcrete” puede llevarse a cabo empleando robots o de forma manual, por el método de vía húmeda o vía seca . Dependiendo de las medidas de la obra y volumen de hormigón, y tomando en cuenta la logística del proyecto se ha de determinar el método más adecuado a cada caso.

Los usos más comunes del hormigón proyectado son : como sustento y el guarnición en la edificación de túneles, la base de suelo y roca en minería bajo suelos, conductos, embalses y construcciones hidroeléctricas . Es de destacarse que es muy utilizado en la estabilización de taludes.

Entre las propiedades más relevantes del “shotcrete” se encuentran, “la integración adecuada y el aguate temprano en su estado reciente (más aun en el soporte de minas subterráneas), y el aguate a las fuerzas de compresión y perpetuación en su estado curtido”.

2.2.2.1. Tipo de lanzado de shotcrete

2.2.2.1.1. Vía seca

Antes de iniciar el proceso los elementos áridos son mezclados en seco, usualmente en una planta de mezclado en la superficie, posterior a esto se transporta a la mina en vehículos auto-alimentadores o volquetes. En caso de emplear volquetes en el transporte, es necesario introducir la mezcla en un alimentador o se alimenta de forma manual, a través de una lampa al aparato gunitador, a partir de esto es empujada mediante mangueras hacia una superficie rocosa. En caso de que la máquina gunitadora o de Shotcrete sea de prototipo rotor, este empuja la mezcla en la manguera que se compone de un rotador que distribuye en el eje vertical con hoyos; donde se distribuye el compuesto y se lanza mediante aire comprimido hasta la boquilla o pistola diseñada especialmente, esta abertura posee un dispensador múltiple ahuecado incorporado, en este se atomiza el agua logrando que se humedezca y mezcle el agregado de cemento, de este se proyecta la mezcla ya húmeda sobre la superficie a aplicar. Los aditivos acelerantes instantáneos o Singunit son incorporados durante la aplicación del rotor.

Figura 4: “Shotcrete vía seca”



Fuente: “Instituto del cemento y del hormigón de Chile” (2014)

2.2.2.1.2. Vía húmeda.

La Gunita o Shotcrete presenta características específicas que tienden a mostrarse según la naturaleza del método de colocación. Cuando se emplea el método de mezcla húmeda el “shotcrete” presenta las siguientes propiedades:

Este método de colocación consiste en mezclar todos los elementos agregados, cemento y agua en una mezcladora o camión de mezclada que alimentan la Gunitadora; mediante dicho método no es posible controlar la relación entre el agua, la distancia y el ángulo de aplicación. De la misma manera es contraindicado para menguar el volumen de aditivo acelerante. Debido a estas razones, cuando se aplica en las paredes y techos de galerías producen gran cantidad de excedentes .

Figura 5: Shotcrete vía húmeda



Fuente: Instituto del cemento y del hormigón de Chile (2014)

2.2.2.2. *Equipos de shotcrete*

El empleo de maquinaria robotizada o automática es vital en la aplicación de concreto lanzado, más aun en casos donde las medidas del túnel son de gran tamaño. Los equipos vienen en distintos modelos y tamaños adaptándose a la envergadura del proyecto. Mayormente se recomiendan para proyectos que manejan grandes volúmenes de concreto, con el beneficio de que su empleo mejora las condiciones laborales del personal. Existen equipos tanto para vía seco como húmeda. En el momento de seleccionar el equipo adecuado según el proyecto se debe contactar a la manufactura y considerar cuestiones como: “el rendimiento estimado de colocación de concreto, el método de aplicación (vía húmeda o vía seca), las condiciones de la excavación, la seguridad, etc”. Al emplear robots no se garantiza una mejora en la calidad necesariamente. Por ello, para asegurar la calidad y resultados del material es necesario contar con personal competentes. Aun así estos equipos ofrecen ventajas considerables, por ejemplo: el mayor ahorro en la aplicación de concreto; costos de manos de obra asequibles; supresión de plataformas y andamios al realizar operaciones de lanzado (puesto que los brazos robotizados presentan mayor rango); decreción del rebote además de un marcado

aumento en la seguridad de los empleados, siendo que permite al usuario controlar el equipo desde una posición segura”.

2.2.2.2.1. Robot lanzador “ALPHA 20”.

(Normet, 2010) en el Manual de Operación Alpha 20, señala que :

- El uso correcto de la máquina o equipo, requiere que se sigan las instrucciones de operación y de servicio preparadas por el fabricante (Normet, 2010).
- Si el equipo es empleado para fines distintos a los cuales fue creado, o en caso de sobrepasar las capacidades especificadas de carga no se considerara como uso adecuado del mismo. Los fabricantes y/o distribuidores no asumirán responsabilidad por daños de este tipo
- Para seleccionar la máquina adecuada para un proyecto esto dependerá del trabajo exacto a realizar, como, por ejemplo : “hormigonado, proyección de shotcrete, transporte de piedra triturada, etc”.
- La maquinaria y equipos especiales solo habrán de ser manejados y reparados por personal calificado y entrenado para estas tareas .
- Realizar cualquier modificación o cambio en la maquinaria sin consentimiento del fabricante está prohibido. Las especificaciones técnicas de los equipos presentan los valores máximos de funcionamiento permitidos
- Incidentes ocasionados por negligencia o falta de cuidado son responsabilidad plena del operario. “El trabajo se llevará a cabo de acuerdo con las instrucciones facilitadas por las autoridades locales. Con objeto de evitar daños, los operarios y sus superiores deberán ser informados de las normativas y estatutos existentes, además de ejercerse una extremada precaución” (Normet, 2010) .

Figura 6: Robot lanzador Alpha 20



Fuente: “Normet 2010”

Sistema de Bombeo.

- “El método de bombeo hidráulico se compone de 5 válvulas primordiales. Una de las cuales es conocida como PVG 32 de un solo cuerpo, esta válvula controla el bombeo o reversa mediante una señal eléctrica en el cabezal de la válvula” (Calderon, 2007) . “La válvula va a direccionar el flujo hidráulico a dos válvulas direccionales piloteadas hidráulicamente las cuales trabajaran para los pistones diferenciales y pistones de cambio del tuvo S el sistema hidráulico se ayudará de dos válvulas de cartucho conocidas como válvulas lógicas en conjunto estas válvulas cumplirán la secuencia lógica del sistema de bombeo o retroceso” (Calderon, 2007)
- “Cuando el sistema hidráulico es alimentado por la línea del vástago llega a alcanzar una capacidad 23 M3/H” (Calderon, 2007)
- “El sistema hidráulico se auto sostiene en el momento que llega a su final de carrera. Por lo tanto, este sistema de bombeo no necesita sensores en la caja de lubricación y en los pistones diferenciales” (Chau Lam, 2010) . “Haciendo así un sistema de 24 hp de potencia sencillo e independiente del sistema eléctrico ofreciendo al cliente un mínimo de fallas y un mantenimiento más sencillo, la válvula PVG 32 comandara la velocidad de trabajo en forma mecánica con unos

topes para la carrera de la válvula, a su vez dicha válvula controlara la presión máxima del sistema hidráulico de 190 bar” (Chau Lam, 2010)

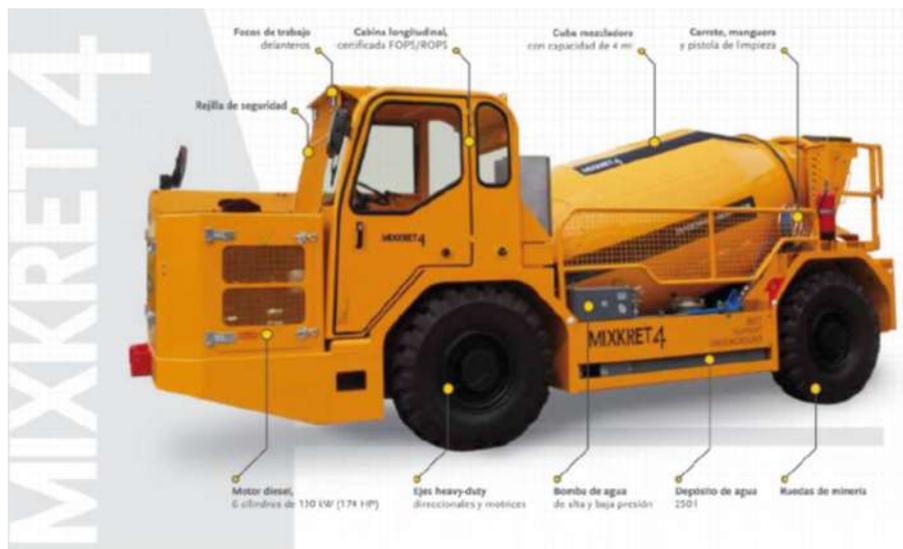
2.2.2.2.2. “Mixkret 4”.

Comúnmente conocido como camión “transmixer” o agitador, camión hormiguera, etc, es un camión equipado con una hormiguera. Para adaptarse a las duras condiciones de terronos en minería, pequeños pasajes y estrechos conductos se emplean vehículos hormigueros con perfil bajo, estos poseen motores poderosos, pequeñas dimensiones y acceden a una favorable motricidad y maniobrabilidad.

Para las minas son utilizados para acarrear las mezclas de “shotcret” hasta el lugar de aplicación. Según las distancias que sean necesarias cubrir se emplearan mayor o menor cantidad de equipos.

El mezclador de hormigón de bajo perfil es el “MIXKRET 4 posee una cabida de hormigón de 4 m³ acaba el proceso de pulverización de hormigón. El motor de 6 cilindros y 130 kW (174 HP) proporciona una gran potencia de escalada y conducción, así como la posibilidad de trabajar a gran altura”.

Figura 7: “Mixkret 4”



Fuente: “Especificaciones Mixkret4” (2014)

2.2.2.2.3. Funciones del “camión MIXER”

Según el tipo de planta disponible serán empleadas las funciones del “camión MIXER” las cuales son: “amasado y agitado”.

En caso de que la planta de hormigón sea amasadora, el camión únicamente llevara a cabo la tarea de agitado de la composición para evitar que se descomponga en el envío hasta el frente. Cuando la planta de hormigón es dosificadora, el mezclador también amasa la argamasa en el cargado, y luego hace la tarea de traslado y agitado hasta el frente.

“Se debe realizar el amasado de la composición en paro, puesto que existe amenaza de vuelco si se realiza en el transporte. Por ello durante el viaje solo se aplica el agitado. El agitado necesita una rotación más lenta de la cuba de hormigón que el amasado”.

➤ “Ciclo de trabajo del mixkret: carga, transporte y descarga”

La función de un mezclador es la de transportar el preparado de “shotcret” a partir de la planta de hormigón o tubería, llevarla al anverso y ahí disparar sobre el dispositivo de proyección. Es recomendable no superar las 300 rotaciones totales con el fin de preservar las propiedades de la mezcla.

Al cargar es necesario tener presente las rpm adecuadas según las tareas que se llevaran a cabo.

“Para el agitado, un rango de 2 a 6 rpm es suficiente mientras el amasado requiere una velocidad de 12 a 18 rpm”.

El transporte del “shotcret” partiendo desde la planta de hormigón hasta el frente debe llevarse a cabo con la velocidad de rotación exacta. Si se excede la velocidad de rotación durante el transporte se perderá trabajabilidad en la mezcla como consecuencia, debido a esto se recomienda disminuir las rpm durante el traslado.

En el momento de la descarga del material la velocidad será ajustada al caudal de bombeo del equipo para shotcrete.

Se calculan precisamente las rpm empleadas durante el proceso global de carga, transporte y descarga, con el fin de estar bajo las 300 rotaciones recomendadas para el ciclo, de esta manera se dispone del margen necesario para la descarga de la mezcla ajustada al caudal de bombeo.

2.2.2.3. Propiedades del “shotcrete”.

Algunas de las características más importantes por las que se mide el comportamiento o la calidad del shotcrete son las mencionadas a continuación:

- Densidad: es un indicador de la calidad del shotcrete con parámetros normales entre 2200 a 2400 kg/m³. Sin embargo, este valor no es un medidor confiable por si solo para determinar el nivel de compactación a menos que se cuente con data historia de la mezcla empleada (García & Ogaz, 2015).
- “Resistencia a la compresión”: “es la resistencia de un material a una fuerza de aplastamiento aplicada axialmente. La resistencia a la 14 compresión no confinada del hormigón endurecido es uno de los muchos indicadores de la calidad del hormigón” (García & Ogaz, 2015).
- “Resistencia temprana”: “la resistencia a edad temprana es la resistencia del hormigón proyectado requerida a edades menores a las especificados para hormigones convencionales, normalmente a menos de un día” (García & Ogaz, 2015). Esta propiedad es especialmente relevante en operaciones subterráneas como minería y túneles para garantizar la seguridad de los trabajadores y un mejor rendimiento.
- “Resistencia a la flexión”: “La resistencia a la flexión es la resistencia de un elemento sometido a momentos flectores” (García & Ogaz, 2015).
- “Durabilidad”: se refiere a la capacidad del hormigón proyectado para resistir las influencias agresivas dentro del entorno de servicio a que está expuesto. Las influencias agresivas pueden incluir el clima, las temperaturas extremas, impacto y la abrasión (García & Ogaz, 2015).
- “Adherencia”: se refiere a la capacidad del hormigón proyectado para adherirse al sustrato o macizo rocoso. “La resistencia de la unión entre una capa de hormigón proyectado y un sustrato subyacente depende de muchas variables, incluyendo el tipo y la condición del sustrato” (García & Ogaz, 2015).

2.2.2.4. *Composición del shotcrete.*

Los elementos que componen el hormigón que será proyectado deben ser preparados de forma tal que, su proporción y características garanticen que la mezcla a elaborar alcance las propiedades necesarias requeridas por el diseño. Estos elementos básicos que conforman el shotcrete son:

2.2.2.4.1. Cemento:

Es según Usabiaga et al. (2014), el conglomerado hidráulico más empleado en la construcción a nivel mundial que, al ser mezclado con el agua, fragua y se endurece este expuesto al aire o sumergido en el agua. La clase de cemento utilizado es el tipo portland el cual puede ser C 150 ó C 595 según lo establecido por la ASTM (ACI, 2016).

2.2.2.4.2. Agua:

Esta debe estar limpia y sin de impurezas que podrían comprometer la integridad del concreto o del acero, siendo preferible el uso de agua potable (ACI, 2016). Tomando como referencia los parámetros establecidos por el “Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile”, cuando no se disponga de agua potable.

2.2.2.4.3. Áridos:

Acorde con su configuración, este material puede ser natural, producto del chancado de materiales, o una combinación de ambos. Estos pueden ser finos o gruesos y su uso dependerá del espesor de shotcrete requerido, evitándose el uso de materiales mayores a 15 mm. Aquellos catalogados como gruesos están representados por el 95% del material que logra pasar el tamiz N°4 ASTM (Rey, 2006). Este elemento constituye aproximadamente el 65% del volumen del shotcrete que equivale al 75% de su peso (Putzmaister, 2019).

2.2.2.4.4. Aditivos:

Estos elementos son empleados en el shotcrete para mejorar una o más propiedades de la mezcla y, para aplicaciones especiales (ACI, 2016). Algunos de los más utilizados son:

- Acelerantes: “estos aditivos reducen el tiempo de fraguado, permitiendo una resistencia inicial mayor, lo cual permite aplicar capas subsecuentes de shotcrete con mayor rapidez y en espesores mayores”.
- Plastificantes: “los reductores de agua se utilizan para mejorar la trabajabilidad y/o reducir la relación agua/cemento”.

2.2.2.5. Fibras.

Desde épocas antiguas se tiene registro del empleo de fibras, tales como pelo de caballo, paja u otros refuerzos similares a los usados actualmente que emulan los efectos obtenidos con fibras sintéticas y de acero, para dotar de ductilidad y refuerzo a las mezclas de construcción de adobe artesanal.

Las fibras usadas para darle refuerzo a hormigones o morteros son productos diseñados para reforzar las mezclas, cuyo empleo disminuye la permeabilidad disminuye la aparición de fisuras y grietas.

Estas fibras de refuerzo presentan distintas composiciones. Con el fin de facilitar su aplicación estas se suministran en bolsas hidrosolubles. Existen gran variedad de soluciones que emplean fibras de hormigón y mortero: hormigones y morteros con alto aguante a golpes, arquitecturas listas para armar, edificación y restauración de pavimentos industriales o proyectados aplicando método mojado en construcciones bajo tierra y subterráneos, pavimentos, aparcamientos, soleras de hormigón, etc.

2.2.2.5.1. Fibra metálica.

Cuando se habla de fibras de acero estas se conforman por piezas de acero con medidas (longitud/diámetro) comprendidas entre 20 y 100, con diferentes secciones transversales. Según normativa “ASTM A820” las fibras son clasificadas según su elaboración, estas son divididas en:

- “Tipo I: Fibras de alambre conformadas en frio fabricadas de acero conformado”.
- “Tipo II: Las fibras de acero cortadas de chapas de acero”.
- “Tipo III: Las fibras extraídas de fundición las cuales se fabrican utilizando una rueda centrifuga”.
- “Tipo IV: Otras fibras”.

Según el peso total de concreto se varían los volúmenes incorporados de fibras normalmente entre un 0,25% y 2%. Una cantidad mayor a este dificulta la trabajabilidad y la dispersión de las fibras; por ello, es necesario crear el plan de mixtura de concreto particular (Kosmatka, 2015).

Considerando que las fibras de acero también intervienen en las propiedades mecánicas del concreto .

Las fibras metálicas KF 65/35 CH son fibras estructurales metálicas de alta calidad diseñadas para reforzamientos en lanzado de shotcrete. Son utilizadas exitosamente para remplazar la malla electrosoldada en el reforzamiento de túneles, con un excelente desempeño comprobado con ensayos de laboratorio según normas EFNARC y ASTM. Las fibras metálicas KF 65/35 CH incrementan la tenacidad del concreto, las resistencias a impactos y resistencias de fatiga, con el beneficio de mayor control de las fisuras respecto a los reforzamientos alternativos.

Figura 8: Fibra metálica Macaferri



Fuente: Macaferri (2015)

2.2.2.5.2. Fibra sintética.

Por fibras sintéticas se comprende aquellas creadas por el hombre, a partir de investigaciones desarrolladas en industrias textiles y petroquímicas. En el diseño de concretos las fibras sintéticas más empleadas son: “acrílicas, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno” de estas se exponen sus particularidades en la tabla 2. Los beneficios de las fibras sintéticas son que reducen la contracción plástica por lo cual se evade la aparición de grietas (Kosmatka, 2015).

Cada vez es más común ver el uso de las fibras sintéticas en diseños de concreto . Las conocidas “macro-fibras” se usan para reforzar de forma secundaria las aplicaciones de concreto normal y en concreto proyectado (shotcrete) de esta manera se reemplaza el uso de fibras metálicas y mallas electro soldadas . La utilidad de las “micro-fibras” está en su capacidad de atenuar la aparición de grietas por encogimiento plástica en el periodo de secado del concreto reciente. En comparación a las fibras de acero estas fibras presentan

ventajas muy similares, sin embargo, se han encontrado ventajas en las aplicaciones de fibra sintética bajo circunstancias y proyectos muy específicos.

Figura 9: “Fibra sintética Myphor”



Fuente: Myphor materiales (2012)

2.2.2.5.3. “Desempeño de la fibra sintética”

El comportamiento técnico de la fibra sintética se ve influenciado directamente por los factores de “calidad y dosificación” del concreto usado, esto se debe a la relación inmediata entre la adherencia de la fibra a la mezcla del cemento. La mejor adherencia se consigue al considerar aspectos como la forma de la fibra, los cuales son: “longitud, diámetro y el relieve de su superficie”.

2.2.2.5.4. Beneficio Económico

Según Myphor materiales (2012), “el consumo de fibras sintéticas por unidad (m³) de volumen de concreto se encuentra entre 4 kg/m³ a 7 kg/m³, dependiendo de las condiciones del macizo rocoso por soportar”. Para las fibras metálicas según Macaferri (2015), “este consumo se encuentra entre 20 kg/m³ a 50 kg/m³. Esta diferencia en consumos se debe principalmente a que la fibra sintética tiene mayor cantidad de elementos que la fibra metálica para unidad de peso”.

Al analizar los costos se observa que el costo de la fibra sintética medida de volumen es mayor que el de la fibra metálica, sin embargo en el balance general se evidencia un beneficio económico mayor al usar fibra sintética. Los casos estudiados demuestran un menor gasto hasta el 50% en el precio de las fibras de refuerzo. Además, se debe considerar los ahorros en los beneficios planteados con anterioridad.

- “Aditivos plastificantes de alto rango que permiten usar razones agua/cemento muy inferior a las corrientes”.
- “Aditivo Inhibidor de fragua: estabiliza la hidratación del cemento, permitiendo el control en el tiempo de fragua del concreto”.
- “Humo de sílice: La microsílíce o humo de sílice (silica fume) es una forma de sílice amorfa. Es un material finamente dividido que se puede añadir al hormigón proyectado para mejorar o lograr ciertas propiedades en estado fresco y/o endurecido”.
- “Fibras de refuerzo: se refiere a fibras de acero o sintéticas empleadas para incrementar el refuerzo del shotcrete, principalmente utilizadas para la minería, túneles o taludes” (Putzmaister, 2019). Acorde con la organización ACI (2016), y su normativa internacional ACI 506-R16 estos pueden ser:
 - “Fibras de acero: típicamente elementos de 12 a 40 mm en una proporción entre 20 a 30 kg por volumen (m³) de shotcrete”.
 - “Fibras sintéticas de Polipropileno: son macro-fibras sintéticas estructurales para el refuerzo de hormigones. La proporción de uso varía entre 4 a 5kg por volumen (m³) de shotcrete”.

2.2.2.6. *“Ventajas de su empleo en el concreto proyectado”.*

Se ha demostrado que las fibras de origen sintético presentan algunas ventajas en comparación a las metálicas. Para el caso particular de las aplicaciones en “concreto proyectado (shotcrete)” se observan:

- No se oxida ni se corroe
- Reduce el desgaste en máquinas de proyección, tuberías y mangueras
- Disminuye el rebote en la proyección o lanzamiento (vía húmeda)
- Retardan el efecto de las altas temperaturas y reducen las fisuras por retracción
- Menores dificultades en almacenamiento y transporte
- Mayor seguridad, menos peso para su manipuleo, reduciendo el costo en mano de obra
- Incrementa la ductilidad a la flexión del concreto
- Es un material inerte
- Mayor durabilidad a largo plazo
- Desarrolla adecuados valores de tenacidad con dosis de consumo más bajas

2.2.3. “Diseño de mezcla”.

Existen muchos criterios y métodos para el diseño de mezclas, para esta investigación será aplicado un método simplificado y conservador, sin considerar cada una de las variables que intervienen en el proceso de diseño de mezcolanzas.

Tabla 2: “Resistencia a la rotura f y relación agua cemento a/c ”.

$f'c$ (kg/cm ²)	a/c
175	0.67
210	0.58
245	0.51
280	0.44
425	0.45

Fuente: ACI 506

“Para diseñar una mezcla de concreto se requiere de la siguiente información”:

- “ f_c : es la resistencia del concreto a los 28 días en testigos cilíndricos de acuerdo a las especificaciones de la ASTM, indicada en los planos”.
- “Slump o revenimiento: esta es la medida de la trabajabilidad del concreto que en las tablas americanas se mide en pulgadas de altura del cono revenido”.
- “El tamaño máximo del agregado grueso se selecciona en función al tipo de estructura y su resistencia; así como el agregado fino, que es el porcentaje de arena que pasa la malla 20 (ASTM)”.

2.2.3.1. “Cálculo de diseño mezcla”

Según relación agua cemento:

Calculo de “C” cemento:

Para $f'c=425\text{kg/cm}^2$:

$$\frac{a}{c} = 0.45$$

$$c = \frac{a}{0.45}$$

Donde:

a= Agua

c= Cemento

Calculo de cemento:

Para Slump: de 1/2" a 2" el *agua libre* $a = 193\text{ kg/m}^3$, según norma ACI 506.

$$c = \frac{193\text{ kg/m}^3}{0.45}$$

$$c = 425\text{ kg/m}^3$$

Calculo de Aditivo:

Aditivo= de 0.942% a 9.0% del peso del cemento, según norma ACI 506.

$$Ad_1 = 0.942\% * c$$

$$Ad_1 = 0.942\% * 425\text{ kg/m}^3$$

$$Ad_1 = 4.004\text{ kg/m}^3$$

$$Ad_2 = 9.0\% * c$$

$$Ad_1 = 9.0\% * 425 \text{ kg/m}^3$$

$$Ad_1 = 38.25 \text{ kg/m}^3$$

Calculo de aditivo total:

$$Ad_{total} = 4.004 \text{ kg/m}^3 + 38.25 \text{ kg/m}^3$$

$$Ad_{total} = 42.26 \text{ kg/m}^3$$

Calculo de agregado:

Agregado Tambomayo molloco (máximo de ½”):

$$Pe_{concreto} = 2,400 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

Pe= Peso específico del concreto

Reemplazando en:

$$P_{agregado} = Pe_{concreto} - (c + a + Ad)$$

Donde:

P-agregado= Peso del agregado

Pe= Peso específico del concreto

c= Peso del cemento

a= Peso del agua

Ad= Peso de los aditivos en total

$$P_{agregado} = 2,400 \text{ kg/m}^3 - (425 \text{ kg/m}^3 + 193 \text{ kg/m}^3 + 42.26 \text{ kg/m}^3)$$

$$P_{agregado} = 1,720 \text{ kg/m}^3$$

Calculo de relación de peso:

$$relación = \frac{P_{agregado} - \text{kg/m}^3}{c - \text{kg/m}^3}$$

$$relación = \frac{1,720 \text{ kg/m}^3}{425 \text{ kg/m}^3}$$

$$relación = 4.005$$

La relación de peso sería:

relación de peso es 1:4

2.2.3.2. Requerimiento del diseño.

Para el análisis de concreto lanzado se debe tener la consideración básica de una cobertura fina de concreto lanzado seco colocada sobre la superficie de una explotación bajo tierra no uniforme, se incorpora al área y está unida a pruebas directas de esfuerzo, principalmente de compresión, tensión y cortante. Generalmente el concreto arrojado no presenta mucha rigidez a la flexibilidad, por lo que tiene baja tolerancia para aguantar este tipo de demanda. También cabe acotar que la constitución de la mixtura de concreto deberá estar creada para que:

- “Pueda ser transportada hacia la boquilla de la manguera y proyectada con el mínimo esfuerzo”.
- “Se adhiera a la superficie excavada, soporte su peso propio y las cargas del terreno mientras se endurece”.
- “Alcance los requerimientos de resistencia y durabilidad para los que fue diseñado en un plazo de mediano a largo. Se recomienda que los espesores de cada capa estén comprendidos entre los 5 y 10 cm, para evitar problemas de adherencia y que, en caso de ser concebido como revestimiento definitivo, su espesor total no sea inferior a los 10 cm ni supere los 40 cm”.

2.2.3.3. “Dosificaciones típicas para el concreto lanzado”.

Con dosificaciones se hace referencia al estudio de la relación y variación de las cantidades a mezclar de cemento, agregados, líquido y adiciones con el fin de lograr mixturas con propiedades específicas de “consistencia, compacidad, resistencia, durabilidad, etc”.

Uno de los fabricantes de fibras más destacados globalmente indica que: las dosis de los concretos arrojados, incluyendo ambos métodos de vía seca como el de la vía húmeda, se comprenden entre 360-480 kg de cemento por metro cubico de mezcla seca. Con la indicación de que la dosis se realice por cantidad.

En la siguiente sección se expone una tabla en la que algunos fabricantes dan sugerencias en cuanto a las relaciones “cemento/agregado” para lograr valores resistivos mínimos a la compresión. Sin embargo, se deberán realizar estudios determinando el porcentaje de

rebote bajos las condiciones específicas del proyecto y según los materiales empleados para la mezcla.

Tabla 3: 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	

Fuente: Sika 2010

2.2.4. Rebote

El termino rechazo o rebote se refiere a la cantidad de agregados que no se queda en la superficie a aplicar sino que cae al suelo. El “rebote” es expresado en porcentajes (%), y se calcula partiendo del volumen de material lanzado. Concerniente al rebote existe mayor preocupación por el rendimiento del gunitado, ya que la perdida de material es secundaria mayormente esto consiste de arena y cemento. Aunque muchos factores influyen en el porcentaje de rechazo, el mayor se destaca como la habilidad del gunitador. Según RYAN “el porcentaje de rechazo en cualquier situación depende de lo que se indica en la tabla”.

Tabla 4: “Causas y origen del rechazo”.

Causa del rechazo	Origen	Imputable a:
1. Relación agua / cemento	Poco o mucho	Gunitador
2. Tipo de árido	Muy grueso	Supervisión
3. Eficacia de la hidratación	Presión del agua	Supervisión
4. Velocidad de proyección	Capacidad de compresor	Supervisión
5. Angulo de distancia del impacto	Tamaño de boquilla	Gunitador
	Límites de acceso	Supervisión
6. Densidad de aplicación	Especificaciones del trabajo	Supervisión
7. Falta de pericia del operador	Baja calidad	Supervisión
8. Aditivo acelerante		

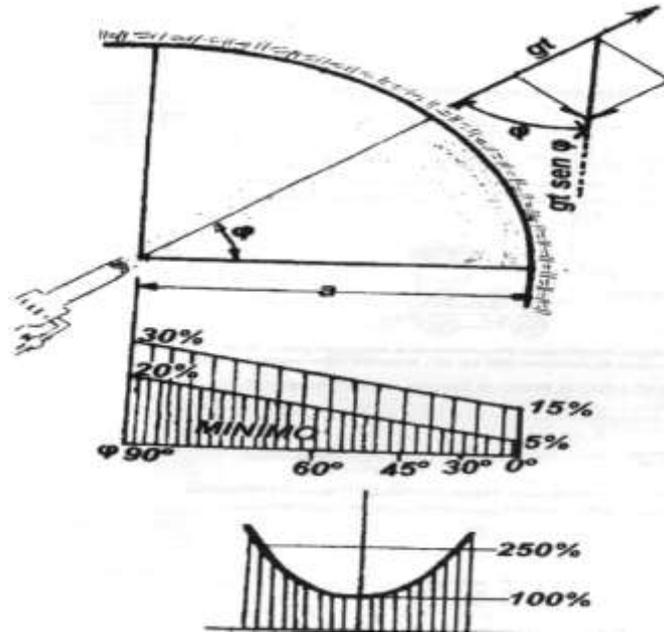
Fuente: Sika 2010

2.2.4.1. “Los factores que influyen en la cantidad de rebote son”:

“La experiencia y pericia del operador de la boquilla”.

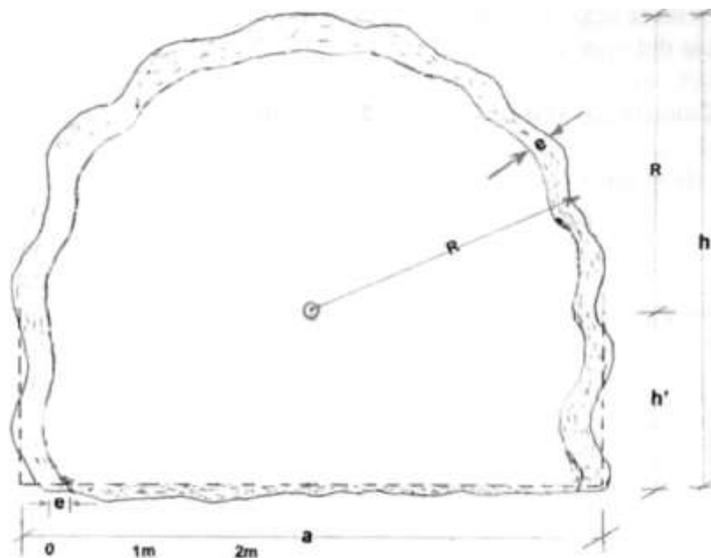
- “Dirección de proyección (hacia abajo, hacia arriba u horizontalmente)”.
- “Distancia de proyección”.
- “Unidad de proyección (presión del aire, boquilla)”.
- “Proceso de proyección (en seco/en húmedo)”.
- “Diseño del hormigón proyectado (agregado, acelerante, fibra, cementante, dosificación)”.
- “Hormigón proyectado (resistencia muy temprana, adherencia, espesor de las capas)”.
- “Condición del substrato (uniformidad, adherencia)”.

Figura 10: “Influencia del ángulo de proyección y la distancia respecto al rebote”.



2.2.5. “Calculo área de sostenimiento”.

Figura 11: Sección transversal típica de labor.



Sección de diseño:

$$R = \frac{a}{2}$$

$$h' = h - R$$

$$h' = h - \frac{a}{2}$$

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

$$p' = \pi R + 2h'$$

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

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

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

Donde:

p'= Perímetro teórico de la sección

R= Radio de la sección

h'= altura perpendicular de la sección

a= Ancho de la sección

h= Altura total de la sección

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

p= Perímetro real o rugoso

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

2.2.5.1. Estudio del factor de rebote

Se establece según el volumen de “shortcrete” que está como residuo en el suelo (resto) como un valor porcentual. Muchos factores influyen la cantidad de rebote, como: “(pericia del operador, condiciones de la labor, macizo rocoso, presión de aire, etc.)”. Para la mina Tambomayo se observa la peculiaridad de una baja presión de aire, lo cual afecta el lanzado provocando un mayor volumen de rebote. Se trabaja actualmente con un rebote de 10%, y un 5% para los traslados.

2.2.6. Método de medición de la resistencia temprana

Para evaluar la capacidad del hormigón proyectado es apropiado para determinar la medida de la resistencia adquirida en su fase temprana, lo cual permite determinar la capacidad para brindar soporte a terrenos inestables, además de facilitar el cálculo del índice de tiempo para regresar al área de trabajo de forma segura. Para ello, la prueba más apropiada para medir el aguante inicial a la presión en hormigones de hasta 1 MPa es el penetrómetro de aguja .

2.2.6.1. “Hincado del Clavo – pistola Hilti”:

Para esta prueba se hunde “hinca” un clavo en el hormigón proyectado para determinar la “profundidad de penetración”. Seguidamente, se mide la fuerza de extracción al sacar el clavo.

Estas medidas arrojan una relación que es usada para conocer un estimado de la “resistencia a compresión” partiendo de la curvatura de valor provista por el productor de los equipos de estudio. Según los estándares el valor de hundimiento del clavo será mínimamente de 20 mm. Se recomienda el equipo “Hilti DX450”, puesto que presenta el conjunto de accesorios y herramientas para llevar a cabo estos ensayos. Es necesario que el equipo cuente con elemento para extracción, y este debe transmitir, mediante un anillo de sujeción, la fuerza de tracción aplicada al clavo en la superficie del hormigón. Se debe proyectar en medida 10 clavos insertados de forma exacta (mínimo 8), precisando un espacio; entre proyectiles; mayor a 80 mm. El objetivo es lograr la mejor relación entre el color de cartucho de disparo y el largo del clavo. Usando este método se puede llegar hasta los 18 MPa fácilmente.

2.2.6.2. Método DX450L de Hilti, con fijación y extracción de pernos

Este método es aplicable para hormigones de resistencia compresión $f_c \Rightarrow 1,0 \text{ N/mm}^2$.

Equipamiento para ensayo:

- **Herramienta a pólvora:**

Herramienta de fijación directa DX 450 con equipamiento L



Equipamiento L

- Guía pistón L125 o L140
- Boquilla 45/SL 1
- Guía clavos 45/FL 1
- Pistón 45/M6-8L

- **Perno roscado M6 :**



- **Cartuchos:**

- 6,8/11M blanco para $f_c=1$ a 8 N/mm^2
- 6,8/11M verde para $f_c=3$ a 16 N/mm^2
- 6,8/11M amarillo para $f_c=15$ a 56 N/mm^2

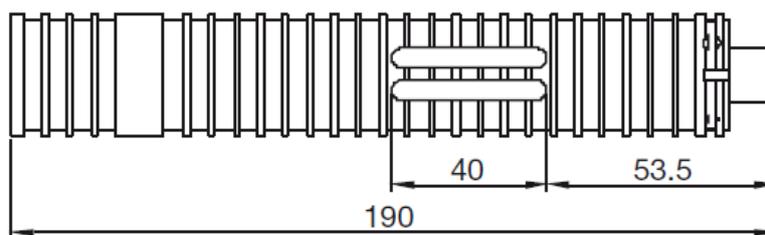
- **Equipo de extracción de pernos:**

Hilti Mark V con adaptador para M6 o Hilti Mark 4 con tuerca T3/M6

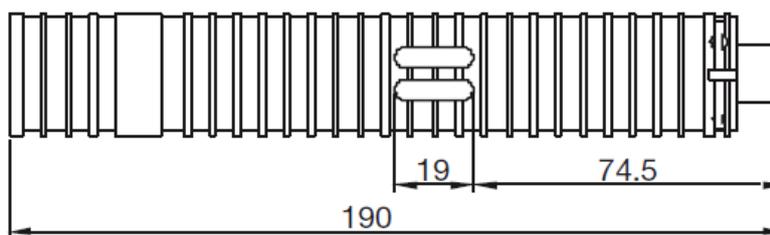
2.2.6.3. Identificación del tipo de guía pistón

Los dos guías pistón se diferencian por la longitud de las ranuras de escape de gas. Con sus ranuras más largas, una herramienta equipada con la L-125 proporciona menos energía conductora que con la L-140.

Guía de pistón L125 (menor energía de conducción)



Guía de pistón L140 (mayor energía de conducción)



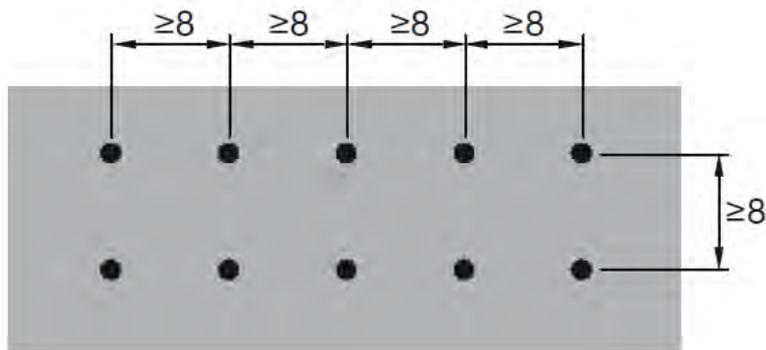
En el método de ensayo se pueden utilizar ambas guías, sin embargo, para evitar errores, se debe evitar conectarlas a mitad del programa de Ensayo. En cualquier caso, la energía

conductor utilizada para el Ensayo ha de adaptarse a la base de la calibración que se utilice.

Como la resistencia a compresión ha de determinarse utilizando los diagramas de calibración que muestra el documento austriaco, la regulación de potencia de la herramienta ha de ser ajustada con arreglo al pistón que se utilice.

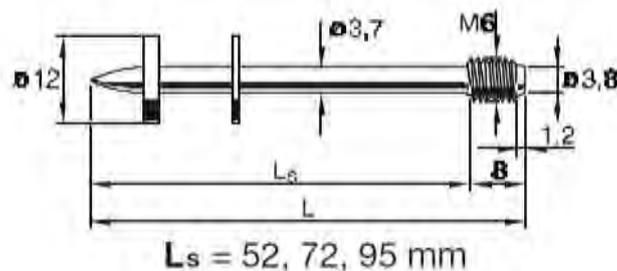
2.2.6.4. *Colocación de los pernos roscados*

- Coloque 10 pernos del mismo tamaño para el ensayo.
- El espacio mínimo entre pernos ha de ser de al menos 8cm.

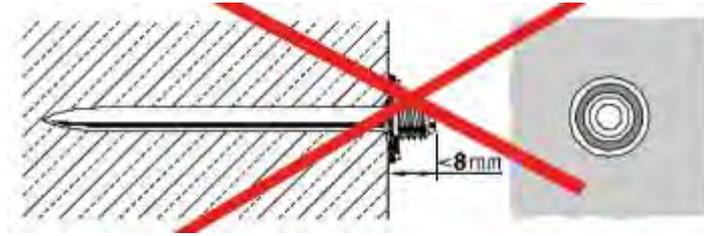


2.2.6.5. *Selección de pernos y su correcta colocación*

Los pernos roscados para el Ensayo están disponibles en tres longitudes de vástago diferentes.

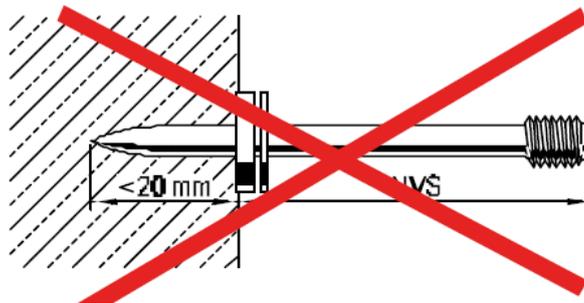


Si el perno más largo se introduce a mayor profundidad de la longitud del vástago (NVS $< 8 \text{ mm}$) posponer el Ensayo hasta que la gunita haya ganado más fuerza.



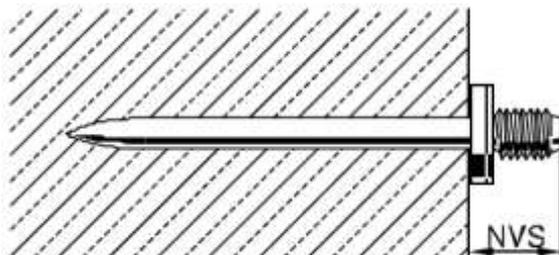
Si la penetración en el hormigón h_{nom} es inferior a 20 mm, utilizar el siguiente perno más corto. Penetración = longitud de perno – NVS

Perno roscado	NVS máximo (mm)
X-M6-8-52 D12	$60 - 20 = 40$
X-M6-8-72 D12	$80 - 20 = 60$
X-M6-8-95 D12	$103 - 20 = 83$

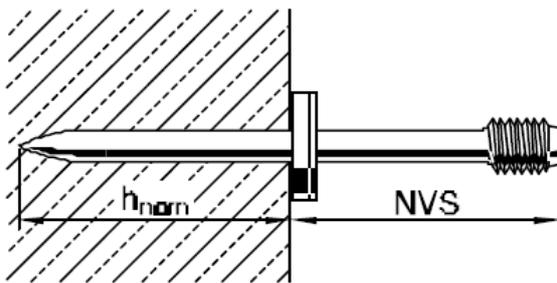


El ensayo de extracción es más práctico si la parte que queda fuera es menor de 30 mm aprox.

Requerimiento: $NVS \geq 8$



Recomendación: $NVS \leq 30$



2.2.6.6. Determinación de la resistencia con DX450L y cartucho verde

Siguiendo los procedimientos explicados en 3.1 y 3.2 colocar 10 pernos del mismo tamaño utilizando el cartucho verde. Asegurarse de que la potencia seleccionada en la herramienta DX 450 se corresponde con la calibración utilizada (curva de calibración FX; selección de potencia “1,625” para la guía de pistón L 125; selección de potencia “1” para la guía L 140”)

- Medir la parte exterior, NVS, e introducirlo en la columna 4 de la tabla FX-3.
- Una vez todos los NVS estén introducidos en la columna 4 calcular la penetración, h_{nom} , para cada perno e introducirlo en la columna 5.

①		②		③		④		⑤		⑥		⑦		⑧		⑨	
Time (h : min.)	Time after gunning completed ① - t _e (h : min.)	Stud type/ Total length L _{tot} (mm)	Standoff NVS (mm)	Penetration: h _{nom} = L _{tot} - NVS (mm)	Pulout load reading, N _u (N)	Actual pulout load, N _u ¹⁾ (N)	N _u / h _{nom} ⑤ / ④ (N/mm)	Mean N _u /h _{nom} Σ N _u /h _{nom} /10 (N/mm)	Concrete strength, f _c Reading from graph FX-7								
Calculation of Concrete Compressive Strength DX 450 (with L Equipment), Green cartridge²⁾																	
Date: 21.08.2000		Air temperature: 20° C		Mix temperature: 32° C		Test by: J. Barnes											
Gallery/tunnel: Löttschberg			Station: Km 7.24			Location: left											
Aggregate size: 0 - 8 mm		Cement: 35F		Accelerator: Type 1a		Time gunning completed, t _e = 11:30											
All measurements and calculations in the same order as studs placed																	
16:00	4:30	M6-8-52	25	35	900		25.7										
21.08.00		60	18	42	1100		26.2										
			23	37	900		24.3										
			18	42	1000		23.8										
			20	40	1200		30.0										
			20	40	1100		27.5										
			17	43	1250		29.1										
			14	46	1300		28.3										
			17	43	1150		26.7										
			21	39	1050		26.9										
							Σ =	268.5	26.9								

1) Power settings for correlation with diagram FX-7: ¹⁾ with L 140 piston guide ²⁾ 1.625 with L 125 piston guide

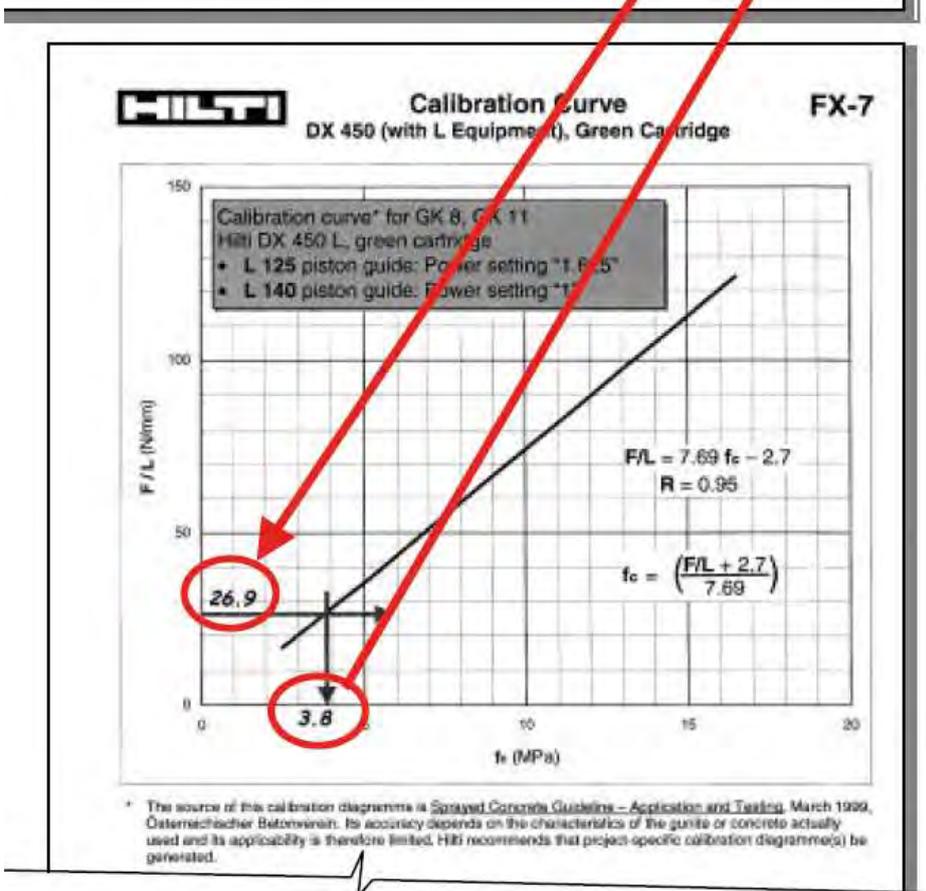
2) This column for corrected pulout load values if Tester 4 used, if Tester V tester is used, value in ⑤ = value in ⑥.

MAN32E_fcrms_filed2.doc Page 22 of 30 10/17 / 01.02.01

Fuente: Manual de pistola Hilti

- c) Utilizar el equipo de extracción Hilti Mark V para extraer los pernos. Introducir las lecturas de carga Nu, en la columna de la tabla FX-4.
- d) Alternativamente, el viejo equipo de extracción Tester 4, se puede utilizar sin embargo las lecturas de carga ha de ser rectifi cadas utilizando el diagrama de calibración para este (consultar 3.5.2 de este manual) Las cargas rectifi cadas Nu' se introducen en la columna 7.
- e) Calcular Nu'/hnom para cada lectura e introducirlas en la columna 8 de FX-4. Calcular la media Nu'/hnom e introducirla en la columna 9.
- f) Introducir en el diagrama FX-7 el cálculo de la media Nu'/hnom (F/L en el diagrama) y leer uno a uno el valor de fc. (Alternativamente, calcular utilizando la formula $f_c = [Nu'/hnom+2,7]/7,69$)

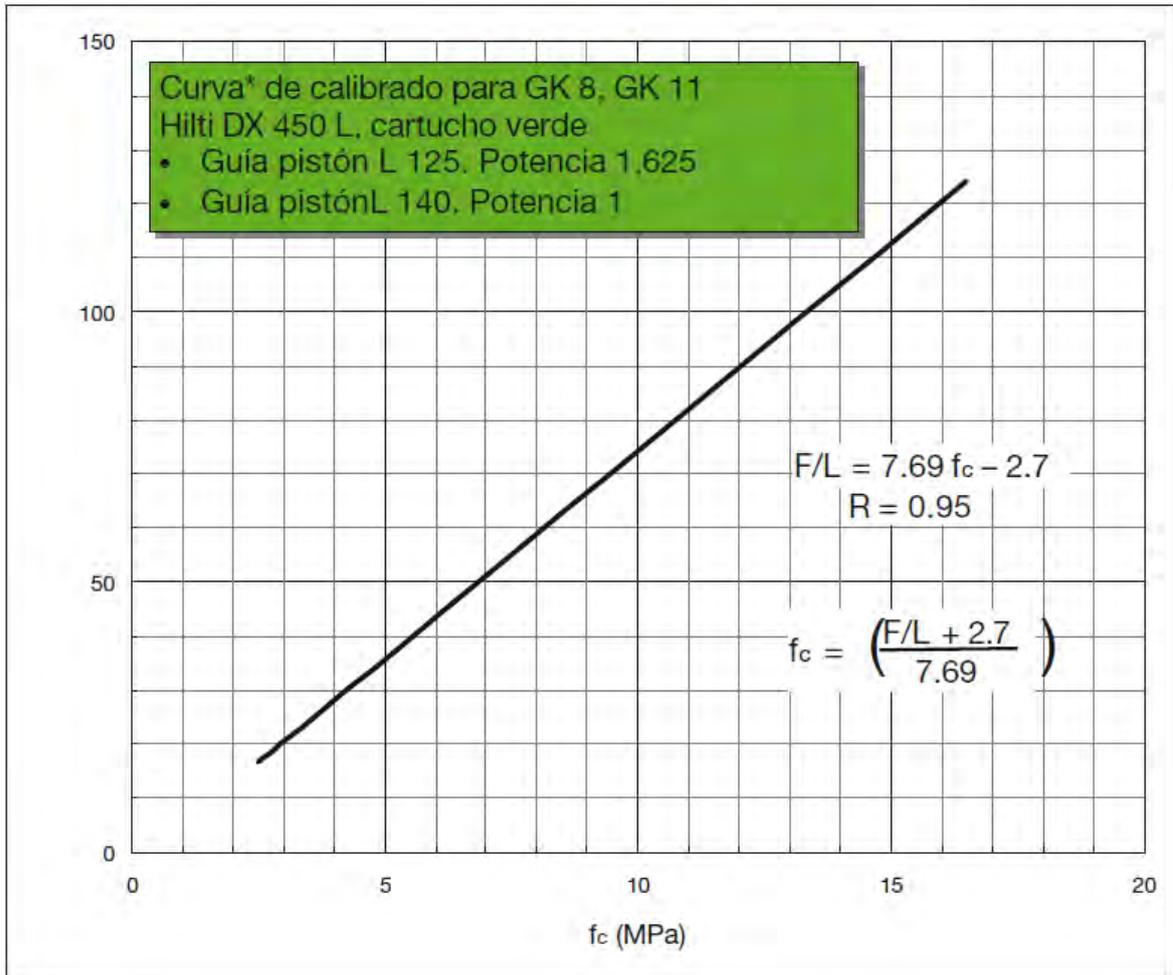
HILTI		Calculation of Concrete Compressive Strength DX 450 (with L Equipment), Green Cartridge!				FX-4				
Date:	21.08.2000	Air temperature:	20° C	Mix temperature:	32° C	Test by:	J. Barnes			
Gallery/tunnel:	Lötschberg	Station:	Km 7.24	Location:	left					
Aggregate size:	0 - 8 mm	Cement:	35F	Accelerator:	Type 1a	Time gunning completed, t _g =	11:30			
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
Time (t) (min.)	Time after gunning completed ① - t _g (t _g - min.)	Stud type/ Total length L _{tot} (mm)	Standoff NVS (mm)	Penetration H _{max} = L _{tot} - NVS (mm)	Pulout load reading, N _u (N)	Actual pulout load, N _u ¹⁾ (N)	N _u ²⁾ / h _{max} ⑦ / ⑤ (N/mm)	Mean N _u ²⁾ / h _{max} Σ N _u ²⁾ / h _{max} / 10 (N/mm)	Concrete strength, f _c Reading from graph FX-7	
t _g = 0										
All measurements and calculations in the same order as studs placed										
16:00	4:30	M6-8-52	25	35	900		25.7			
21.08.00		60	18	42	1100		26.2			
			23	37	900		24.3			
			18	42	1000		23.8			
			20	40	1200		30.0			
			20	40	1100		27.5			
			17	43	1250		29.1			
			14	46	1300		28.3			
			17	43	1150		26.7			
			21	39	1050		26.9			
								Σ =	268.5	26.9
1) Power settings for correlation with diagram FX-7:			*1" with L 140 piston guide			Σ =				
			*1.600" with L 125 piston guide							
2) This column for corrected pulout load values if Tester 4 used. If Mark V tester is used, value in ⑦ = value in ⑥.										
MAN02E_forma_fbx02.doc			Page 22 of 30			17/01/02/01				



Fuente: Manual de pistola Hilti

- g) Introducir el valor f_c en FX-4.
- h) Para gunita de alta resistencia, se utilizará el cartucho amarillo y X-M6-8-52 D12.
En este caso utilizar FX-5 y FX-8.

2.2.6.7. Curva de Calibrado DX 450 (con equipamiento L) cartucho verde



Fuente: Manual de pistola Hilti

La fuente de este diagrama de calibrado es la Guía de Hormigón Proyectado. Ensayo de Aplicación marzo 1999. Osterreichischer Betonverein. Su exactitud depende de las características de la gunita o del hormigón que se ha utilizado realmente y de su aplicabilidad por tanto está limitada. Hilti recomienda que el diagrama de calibrado sea elaborado para cada proyecto específico.

2.2.6.8. “Extracción y ensayo de testigos”:

Para calcular el aguanete del hormigón se emplea el método de extracción y “ensayo de testigos” partiendo cercano a los 10 MPa, este procedimiento ayuda a determinar la

resistencia rápida, en caso de que las resistencias sean mayores a la medida de los 10 MPa, así como el aguante a la presión del hormigón en largo plazo”.

2.3. Definición de términos básicos

GALERÍAS: Túneles horizontales al interior de una mina subterránea

SOCAVÓN: Galería de acceso desde el exterior horizontal con pendiente de drenaje

RAMPA: Acceso inclinado

PIQUE: Acceso en forma vertical en la cual se puede descender a las profundidades de los yacimientos

CHIMENEA: Excavación vertical o inclinada que desemboca directamente en la superficie y está destinada a la extracción del mineral, al descenso y al ascenso del mineral y los materiales

CRUCERO: Es una labor minera horizontal que se realiza sobre roca estéril

NIVEL: Galerías horizontales en un horizonte de trabajo en una mina; es usual trabajar las minas desde una chimenea de acceso, y se establecen niveles a intervalos regulares, generalmente con una separación de 50 metros o más

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: La principal propiedad especificada para el hormigón proyectado simple es la resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión es la resistencia de un material a una fuerza de aplastamiento aplicada axialmente. La resistencia a la compresión no confinada de hormigón endurecido es uno de los muchos indicadores de la calidad del hormigón

RESISTENCIA TEMPRANA: El shotcrete para soporte de rocas o suelos especialmente en túneles debe alcanzar una resistencia mínima a una edad temprana, a menudo dentro de las primeras horas después de la proyección

CAPITULO III:

III. DIAGNÓSTICO DEL ÁMBITO DE ESTUDIO Y OPERACIONES MINERAS

3.1. Aspectos generales del ámbito del estudio

3.1.1. Ubicación Geográfica

“Tambomayo es una unidad de minado ubicada en el anexo de Punachica y Tocallo, distrito de Tapay, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa. Orográficamente está localizada en la cordillera Chila, entre los nevados Surihuire (5,556 m.s.n.m.) y el Sahualque (5,495 m.s.n.m.) y se emplaza en la parte sur - occidental de los Andes”. (Calapuja C., 2014)

Tabla 5: Acceso a la U.M. Tambomayo

Arequipa - Yura - Cañahuas	Pista Asfaltada	79 km.
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
	Total	301 km

Fuente: U.P. Tambomayo

3.1.2. Clima

Se presenta generalmente un clima propio de los Andes, con temperaturas frígido o glaciares mayormente en las altas cumbres sobre los 4,800 m.s.n.m. con una variación presente entre los 4,500 y 5000 m.s.n.m a un clima frio o de puna (seco y frio con variaciones de temperatura) presente en el flanco occidental andino. Los cambios de temperatura en el día y la noche son muy drásticos.

En cuanto a estaciones climáticas se distinguen dos estaciones marcadas, entre los meses de diciembre y abril está el denominado invierno caracterizado por un clima húmedo y

precipitaciones líquidas y sólidas, la segunda estación es el verano que se da el resto del año, se caracteriza por el clima seco con temperaturas de 7°C, con una variación mínima de temperatura.

El clima guarda estrecha relación con la vegetación imperante en las zonas, dándose pastos en las áreas bajas tienen predominancia los forrajes nativos, por ejemplo el ichu y algunas otras gramíneas. Más hacia el fondo de los valles glaciares y cercanos a los ríos se encuentran los “bofedales” con material de turba, y hacia las regiones más altas, especialmente en las zonas volcánicas es posible distinguir musgos y líquenes.

“la fauna característica se compone de ganado auquénido y ovino de la región así como de especies oriundas como venados, vizcachas, zorros, pumas águilas, cóndores, etc”. (Calapuja C., 2014)

3.2. Descripción de la U.P. Tambomayo

3.2.1. Geología

En el sur de Perú se encuentra el “Yacimiento de Tambomayo”, específicamente en el “Departamento de Arequipa, en el Centro Volcánico Tambomayo”, este es una de los carios apartados volcánicos existentes en el fragmento sur de la Cordillera de los Andes del Perú, estos se han formado a través del Neógeno y Cuaternario desde los 30 Ma hasta 0.1 Ma

“Las imponentes cantidades de piedra volcánica que yacen entre superficies onduladas sutiles por encima de las tierras alteradas del Paleozoico y Mesozoico prueban el auge de un régimen tectónico y arco magmático a lo largo de la Cordillera Andina, ocurrido desde el Oligoceno hasta el Plioceno” (Fletcher et al., 1,989 y Clark et al., 1,990)

3.2.1.1. Geología Regional

El Proyecto Tambomayo se ubica hacia el flanco Oeste de la Cordillera Occidental, caracterizado por tener superficies sub-horizontales de relieve suave, la gran mayoría con una cobertura de “piroclásticos del volcanismo plio-cuaternario”. Las sobresaliente estos es la conocida “depresión de Caylloma”, la cual tiene un control vulcano-tectónico. En las primordiales unidades lito estratigráficas están: “rocas del Precámbrico Mesozoico (Jurásico – Cretáceo), además de piedras metamórficas del tipo ortogneis, gneis granítico, aflorando en el lecho del río Colca. Cenozoico (Terciario – Cuaternario), con presencia de depósitos cuaternarios”.

De igual manera, el “Mesozoico” presentado por el “Grupo Yura”, los cuales afloran mayormente en el área Norte y Sur del proyecto, supra yaciendo tenemos la formación Murco y Arcurquina

“El volcánico Terciario – Cuaternario, se conforma por los volcánicos Santa Rosa (la cual contiene la mineralización del yacimiento. Shila, Fullchuina, Alcaje, Kenko y Sahuarque, encima de estas secuencias se ubica el Pliocuatnario, representado por los depósitos Molloco, volcanico Barroso y los volcánicos Andagua”.

3.2.1.2. *Geología Local*

Según “Buenaventura” en sus estudios, se indica que el yacimiento está ubicado internamente a “una secuencia prolongada y complicada de piedras volcánicas entre rocas efusivas, fraccionadas, volcanoclásticas y almacenes de derrumbes que unidos erigen un potencial sedimento volcánico”. Con apariciones de “tufos, brechas, lavas y lahares” estos tienden a variar desde traquiandesitas hasta dacitas, los “lahares” de estructura “andesítica” son evidenciados en franjas con más elevación y en áreas de quebradas y concavidades abarrotadas de “material cuaternario” fruto del desgaste.

3.2.1.3. *Geología estructural*

La Tectónica Regional en la cadena de los Andes tuvo su origen en el periodo Cretáceo en el momento en que la película de Nazca da comienzo a 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)

Para este marco tectónico son frecuentes los movimientos de “deformación transtensivos y transpresivos”, donde se da con frecuencia abruptos cambios de trayectoria de los esfuerzos.

“Ejemplificaciones claras de la correlación inseparable entre la tectónica y la mineralización auro argentífera en la región, son plasmados en las figuras 9 al 9c, cada una tomados de estudios tectónicos de las minas Shila, Paula, Caylloma y Suyckutambo”. (Calapuja C., 2014)

3.2.1.4. *Geología economía*

Longitudinalmente a la fracción de la cordillera entre la “Mina Madrigal y la unidad Minera Poracota”, está presente una agrupación de almacenes minerales con altas concentraciones en metales preciosos y metales base, los orígenes de estos se relacionan estrechamente con las “tectogénesis y magmatismo ocurridos durante el Neógeno desde los 23.0 Ma hasta los 5.0 Ma”, con la presencia de los depósitos Caylloma y Orcopampa como los más antiguos de la región entre 18.5 Ma y 16.0 Ma mientras que Arcata sería el depósito más joven con 5.4 Ma

Los depósitos minerales con más relevancia, tomando en cuenta la historia productiva y las dimensiones del sistema hidrotermal, se destacan las jurisdicciones mineras de, “Caylloma, Orcopampa, cata, Selene - Pallancata, Shila-Paula y Suyckutambo”. En otros grupos de depósitos minerales de menor tamaño se encuentran: “Madrigal, Tambomayo, Ares, Poracota y Lima”.

Para resumir, “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” se representa en concordancia a la temperatura y hondura hasta la superficie. Obteniendo una nueva activación de las “vetas de cuarzo blanco masivo, lechoso con presencia de fracturas y fallamiento” en el rango local cortando “cuarzo, gris lechoso” para unas al juntar el cuarzo calcedonio con él suelo, en diferentes ocasiones al contacto con el techado y en momentos en el centro de este “cuarzo lechoso”. Después de la reactivación se produjo una mineralización de sulfuros de Fe, Zn, Pb y sulfonales de Ag, acompañados de gangas de calcita, cloritas, piritita, etc . Y luego se obtuvieron períodos continuos de mineralización de cuarzo, correspondiendo a la plata e incremento notable de piritita superficialmente en una de estas etapas de mineralización, la cual se corresponde a la mineralización de oro (electrum) . “La secuencia para genética referente a la mineralización Hipógena en el área de Mirtha es como sigue: Especularita, Piritita, Marcasita, Esfalerita, Arsenopiritita, Calcopiritita, Cobres grises, Galena, Acantita/argentita, Sulfosales de plomo, Sulfosales de plata, Electrum, Covelita”.

De forma lógica esta sucesión de “minerales hipógenos” ocurre en las variedades secundarias de “Ag y Cu”, sin embargo de manera muy limitada.

No en todas las vetas se presenta la mineralización distrital igualmente, de esta forma se tiene, que las próximas al “NW de Tambomayo” brindan casi únicamente menas de Au mientras que las del “Norte y Este” componen primariamente menas ligeramente bajas en valores de “Ag”, con aumento de “Pb y Zn”. Constando de particularidades para los dos casos, que posiblemente satisfacen a lineamientos estructurales, como se presenta el estado del “extremo Este de la veta Mirtha” el cual demuestra un acrecentamiento en minerales de “Pb y Zn”.

En la zona local de igual manera es notorio un “zoneamiento vertical”, presentando mineralización de “Ag” hacia superficie, repartida en una franja horizontal, mezclada a valores de “Au”; después continúa una zona que expone una mengua en mineralización de Ag, pero con acrecentamiento de Pb y Zn en las partes más profundas.

Así se concluye que es posible sustentar que el zoneamiento vertical, se conformara desde la parte superior a la inferior como sigue :

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

“La extracción minera a una capacidad de 3,000 Tn métricas al día de minerales como Au, Ag, Pb y Zn, 90,000 Tn métricas por mes y 1’080,000 Tn métricas al año, guiándose por los reportes referidos por la compañía”. (<http://proactivo.com.pe>, 2017)

Esta indagación comprende las estructuras mineralizadas que se indican en el siguiente anexo:

Figura 12: “Modelo de wireframe de las vetas del proyecto minero Tambomayo”

	TM	Ancho (m)	Ag (oz/TM)	Au (oz/TM)	Pb (%)	Zn (%)
Medidos	1'458,525	4.16	15.53	0.232	1.54	2.26
Indicados	1'110,771	3.29	14.00	0.355	2.40	2.95
Inferidos	2'511,566	2.75	3.78	0.389	2.05	4.61
Total	5'080,862					

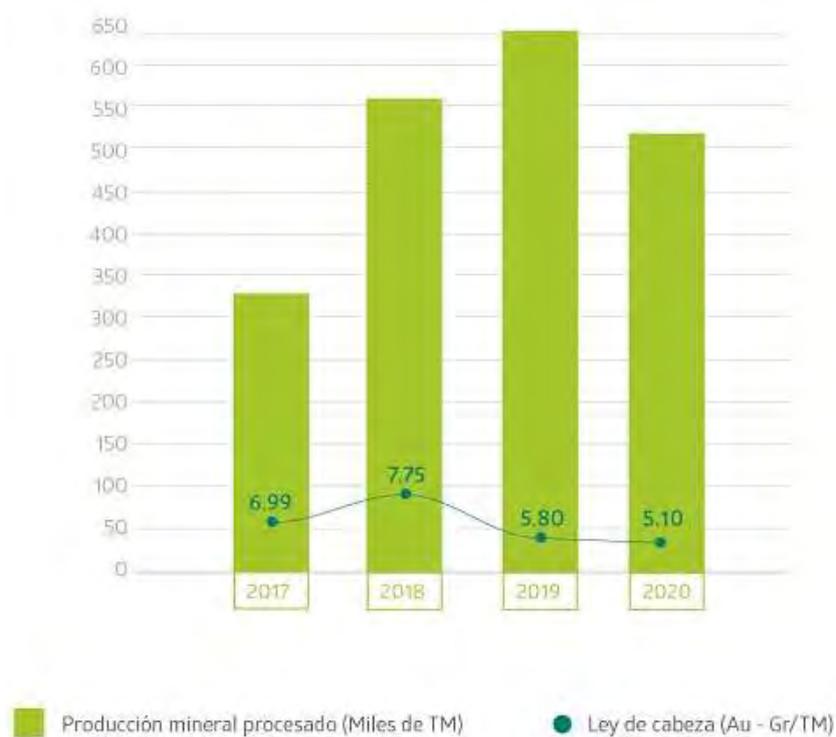
Fuente: Área de Geología U.P. Tambomayo

Figura 13: Reservas y recursos de Au de la U.P. Tambomayo



Fuente: Planeamiento U.P. Tambomayo

Figura 14: Producción de mineral y ley de cabeza



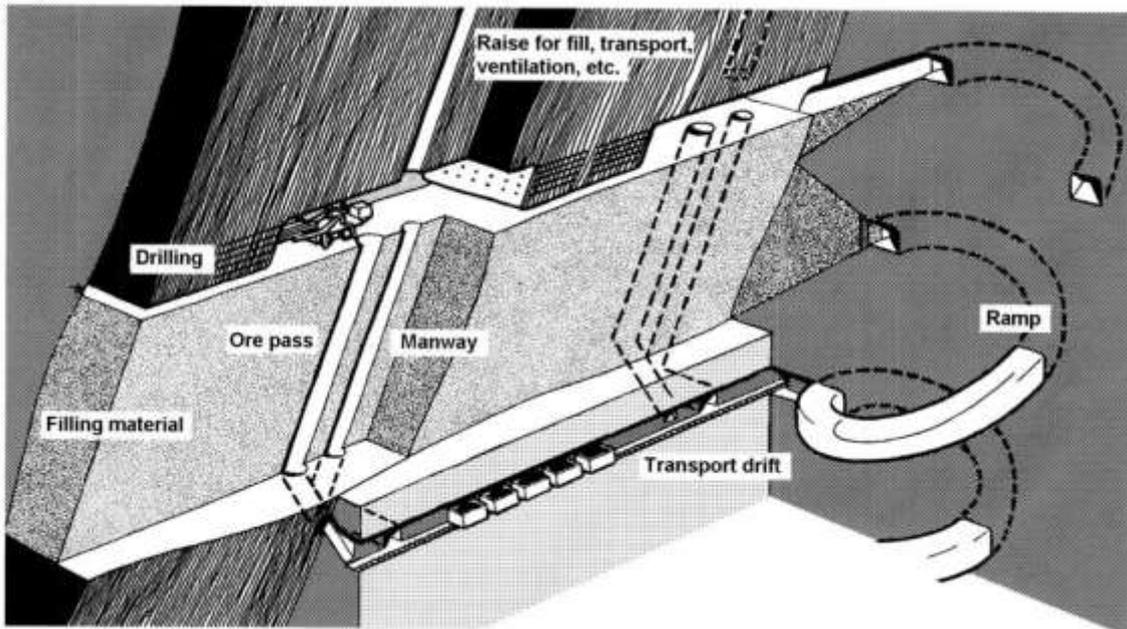
Fuente: Planeamiento U.P. Tambomayo

3.2.2.2. Método de explotación

Para esta investigación se aplicaran dos sistemas de aprovechamiento subterráneo: “corte y relleno ascendente mecanizado, y el de banqueo y relleno”.

El “corte y relleno ascendente mecanizado” se trata de generar incisiones o rebanadas supinas sobre la veta”, iniciando comenzando en el pie del tajo y continuando hasta la superficie. Antes de esto, se colocara una pasadera entre la galería principal y el subnivel en el que se abordara la excavación

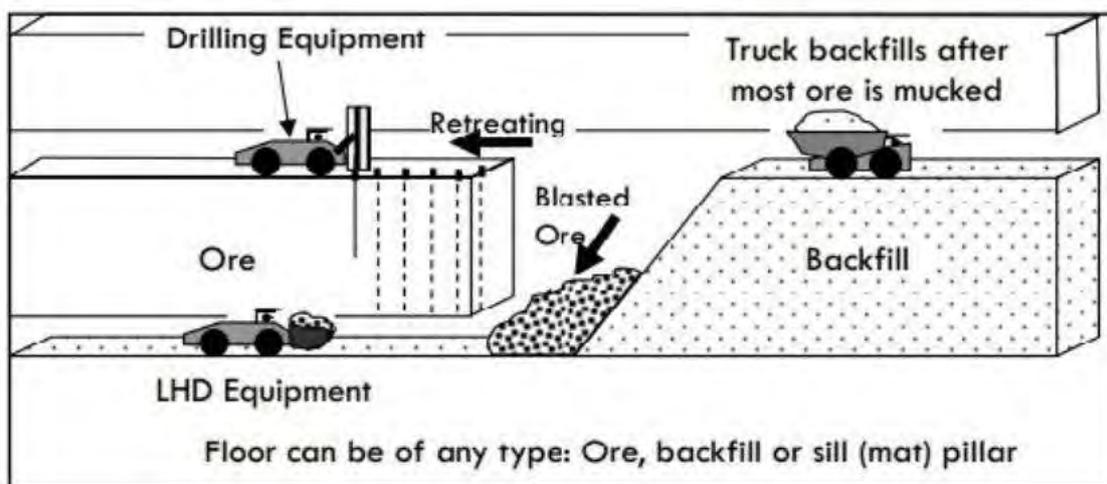
Figura 15: Corte y relleno ascendente



Fuente: Richard E. 1998

El “método de explotación Bench And Fill” consiste en proyectar “tajeos” de gran tamaño, para esto se confeccionan planes de excavación según a las tipologías “geomecánicas”, especificando la cantidad de taladros adecuados, inclinación y amplitud de barrenas.

Figura 16: Bench and fill



Fuente: Richard E. 1998

3.2.2.3. *Operaciones unitarias*

Las fases o “ciclo de minado” según la metodología de excavación a emplear durante la investigación serán: “perforación, voladura, acarreo y transporte en interior de mina, desatado y sostenimiento y relleno de los tajeos”.

“A partir de las faenas de averiguación minera del plan, las vetas de mineral se han identificado a través de niveles, entre los que se tienen los niveles 4940, 4890, 4840, 4790, 4740”. Para esta faena se reconoce como trabajo interno en la mina la realización de un esquema de desarrollo y reconocimiento de estructuras mineralizadas de 24,000 m por año (2,000m por mes). El cual abarca la creación de otros niveles bajos “(4690, 4640, 4590, 4540, 4490, 4440 y 4390)”.

Con el fin de profundizar la mina se continuara con la construcción de la rampa central, y también se ahondara “el pique N°1 y de un pique se servicios”. Esto admitirá arreglar y trabajar inicialmente de “los niveles 4690, 4640, 4590, 4540, 4490 y 4440”.

3.2.2.3.1. “Perforación”

La perforación es una de las actividades de mayor relevancia en este método. El lograr una perforación sin desviación es de mucha relevancia para conseguir el cometido, esto debido a que la granulometría de los materiales extraídos influye en los otros procesos de la operación.

La “explotación vertical” comienza al perforar la cara libre, esta se realiza cerca de la caja techo

Las consideraciones para iniciar el proceso de perforación con los taladros de producción son:

- “Tipo de roca”.
- “Tamaño de fragmentación requerida”.
- “Diámetro del taladro”.
- “Longitud del taladro”.
- “Orientación y espaciamiento entre taladros”.
- “Desviación de la perforación”.

Para perforación se utiliza el equipo Jumbo RAPTOR 442R “electrohidráulico para extracción de tiros largos, su extremidad hidráulica posee paralelismo mecánico, provisto

con 2 aparatos de rotación que permite perforar muy cerca de ambas paredes de la sección de la mina”.

Figura 17: Jumbo RAPTOR 442R – Montabert-HC95



Fuente: RESEMIN (2016)

Epiroc (2020), “el Simba E7 es un aparato de excavación para manufactura hidráulica de taladros extensos en angosturas de capacidad módica a grande y diámetro de los barrenos de 51 a 127°mm. Tiene a su disposición una extensa gama de barrenas y mazos en cabeza y base para acomodarse a sus especificaciones”.

Figura 18: SIMBA E7



Fuente: Epiroc (2020)

3.2.2.3.2. *Voladura*

Con la voladura se alcanza un apropiado fraccionamiento del “macizo rocoso”, la parte práctica, coste de voladura, eficacia estratégica, producción y ejecución de los equipos se relaciona a una excelente desintegración

A partir de la data suministrada por el “Departamento de Geomecánica” es posible recrear el transcurso de “voladura”, según las metas planteados para cada operativo.

“La selección de los explosivos apropiados para la voladura está asociada a”:

- “Burden y espaciamiento de la malla de perforación”
- “Paralelismo de los taladros, desviación menos del 10%”
- “Tipo de fragmentación del mineral requerido”.
- “Diámetro del taladro de perforación”.
- “Condiciones geológicas presentes”
- “El material explosivo a usarse debe estar directamente ligado a las condiciones del terreno”.
- “El carguío de los taladros se debe hacer con personal calificado”.

Para efectos de voladura se utiliza emulsiones y ANFO, como son:

Emulex.-

Para Exsa (2018), “es una disolución envuelta en laminilla plástica, sensitivo al detonador, con niveles de energía inconstantes que le asienten para acoplarse a todo tipo de maniobra incluyendo terrenales húmedos o inundados”.

“Tiene un amplio rango de velocidades y presión de detonación para ser usado en labores confinadas en túneles y en minería subterránea”.

- “EMULEX 45 para voladura de rocas muy suaves”.
- “EMULEX 65 para voladura de rocas suaves a intermedias”.
- “EMULEX 80 para voladura de rocas semiduras a duras”.
- “EMULEX 100 para voladura de rocas muy duras”.

Figura 19: Emulsión - EMULEX



Fuente: Exsa (2018)

ANFO - Examon

Exsa (2018) “es un elemento de voladura granoso empleado en voladuras de superficie y bajo tierra con adecuada circulación de aire. Accede a ser usado como carga de columna en área intermedia a dura”.

“Preparado especialmente con una mezcla balanceada en oxígeno de nitrato de amonio y petróleo”.

Figura 20: ANFO - EXAMON



Fuente: Exsa (2018)

3.2.2.3.3. Ventilación

Tanto la ventilación como el proceso de producción, son actividades fundamentales mediante las cuales se consigue ventilar el aire requerido en el interior de la mina con el fin de instituir y acondicionar el ambiente apropiado y seguro para desarrollar las actividades de forma óptima. Por esta razón se adjudican “circuitos de circulación” en cada área mediante las labores de acceso como – “chimeneas (RB) y ventiladores - mangas de ventilación”.

La importancia de promover una adecuada circulación de aire en el área de producción viene dada por:

- “Es necesario diluir los gases tóxicos generados por el trabajo en interior mina, como, por ejemplo, gases producidos por los explosivos y por los equipos operados, hacia los límites máximos permisibles (LMP’s)”.
- “Es necesario promover el oxígeno en el ambiente de interior mina para poder asegurar la adecuada respiración del personal”.
- “Es necesario establecer un ambiente laboral fresco ya que existe un gradiente geotérmico que provoca una mayor temperatura a una mayor profundidad”.

3.2.2.3.4. Limpieza

La limpieza, así como el acarreo, constituye una operación unitaria vital para el método de minado. Estos procesos se realizan con “scooptrams de 6,0 yd³, marca Caterpillar; al poseer una consistencia insitu de 2,5 t/m³”, en intermedio la carga por cuchara llega a ser de 5 toneladas, esta maquinaria vienen mando a distancia incorporado (control remoto), así el inorgánico quebrado baja por gravedad en el corredor primario y es desechado desde el “by pass”, allí se traslada hasta el “ore pass” o en dirección a las aberturas de carga dependiendo de la ubicación estratégica donde el mineral sea subido en los volquetes.

Tambomayo se cuentan con cuatro máquinas destinadas como scooptrams para la limpieza y carguío de la unidad.

Figura 21: Scooptram CAT



Fuente: CATERPILLAR 2019

3.2.2.3.5. Acarreo

Paralelo a los procesos de “perforación, limpieza, sostenimiento y relleno” es realizado el “envío de mineral” partiendo de las aparatos de acopio del declive llevándolos a la “explanada de depósito de mineral” utilizando vehículos, lo que incluye que el coste por tonelada transportada varía según el trayecto en que se esté excavando.

“Los parámetros de transporte en la unidad minera de Tambomayo con la que actualmente se están trabajando son”:

- “Doce volquetes Volvo FMX 440 que tienen una capacidad de 30 Toneladas”

Figura 22: Volvo FMX 440



Fuente: Volvo (2020)

3.2.2.4. “Personal y mano de obra”

“los trabajadores y mano de obra que se utiliza en la Unidad Minera Tambomayo son el siguiente”:

Tabla 7: Personal por división de la U.P. Tambomayo

DIVISIÓN	PERSONAL	CANTIDAD
PRODUCCIÓN	EJECUTIVOS	9
	ADMINISTRATIVOS	2
	SUP. DIRECTO	4
	OBREROS	46
	TOTAL	61
AVANCES	EJECUTIVOS	7
	ADMINISTRATIVOS	8
	SUP. DIRECTO	20
	OBREROS	211
	TOTAL	246
SERVICIOS	EJECUTIVOS	5
	ADMINISTRATIVOS	10
	SUP. DIRECTO	8
	OBREROS	132
	TOTAL	155

Fuente: UM Tambomayo

3.2.2.5. *Maquinaria y equipos*

La maquinaria y dispositivos manejados internamente en la Unidad minera Tambomayo son descritos en la siguiente tabla :

Tabla 8: Maquinaria y equipo de la UM Tambomayo

DIMENSIONAMIENTO DE FLOTA				
DIVISIÓN	EMPRESA	EQUIPOS	UNIDADES	RENDIMIENTO
PRODUCCIÓN 1600 TMS	BVN	Simba TL	4	18 m/hr
		Scooptram	4	45 ton/hr
	Total		8	
AVANCES (1400m - Mes)	JRC	Jumbo Frontonero	5	23 m/hr
		Scooptram	7	45 ton/hr
		Dumper	5	12 ton/hr
		Telehandler	1	3 hr/gdia
	BVN(2), JRC(2)	Empernador	4	35 perno/dia
	BVN(1), JRC(2)	Desatador	3	3 h-p/gdia
Total		25		
SERVICIOS	Varios	Volquete	12	25 Ton/hr
	ECM Robocon	Robot lanzador	2	24 m2/hr
		Hormigonera	4	24 m2/hr
		Camion Mixer	2	30 m2/hr
	ECM Incisur	Mini cargador	2	6 ton/hr
		Tractor	1	50 ml/hr
		Telehandler	1	3 hr/gdia
	BVN	Jumbo Cable Bolting	1	15 m/hr
	Master Drilling	Máquina perforadora	1	12 mts/dia
	Total		26	
TOTAL GENERAL			59	

Fuente: UM Tambomayo

3.3. Geomecánica de la U.P. Tambomayo

3.3.1. Clasificación de rocas

Se realizó la categorización geomecánica según los métodos de Clasificación RMR76 de Bieniawski (1976), Q de Barton (1973) y de forma complementaria el Índice de Resistencia Geológica GSI (1994)

3.3.1.1. Sistema de Clasificación RMR76

Bieniawski en (1976) desarrollo este sistema, este toma en cuenta seis medidas de sistematización (ver tabla 9), la adición de estos parámetros resulta en el índice RMR, en el caso de las Minas es recomendable no tomar en cuenta la “valoración por ajuste de orientación” puesto que éste es apreciado en el número de “Estabilidad (N’) para el Método gráfico Estabilidad”.

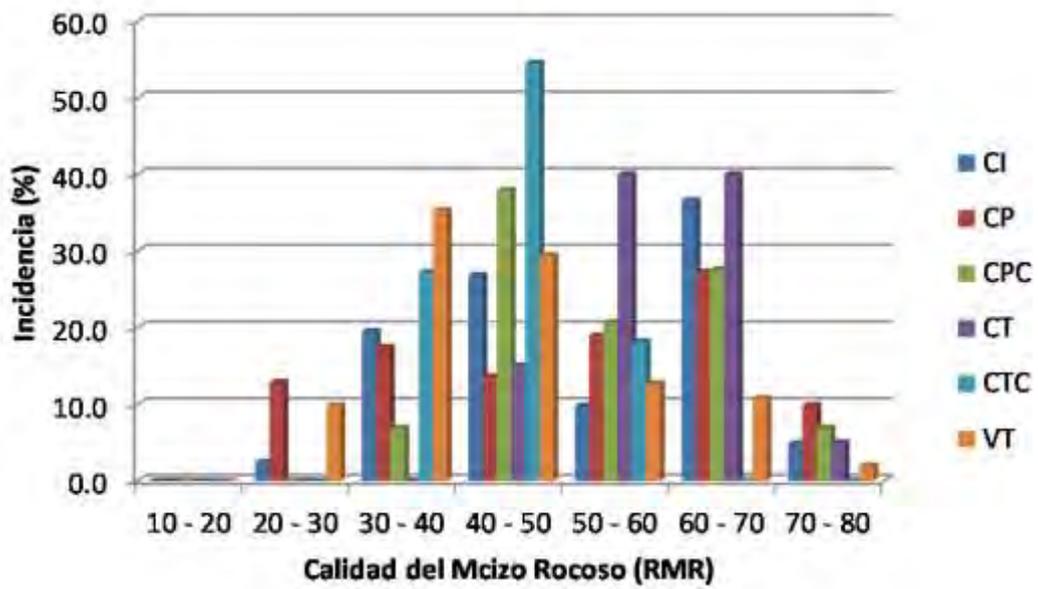
Tabla 9: “Parámetros de Clasificación del Sistema RMR”

Parámetros de Clasificación	Rango de valores
Resistencia Uniaxial de la roca intacta	0 – 15
Rock Quality Designation (RQD)	3 – 20
Espaciamiento de discontinuidades	5 – 30
Condición de las discontinuidades	0 – 25
Condiciones hidrogeológicas, agua subterránea	0 – 10
Ajuste por orientación de discontinuidades	(-12) – 0

Fuente: Bieniawski (1976).

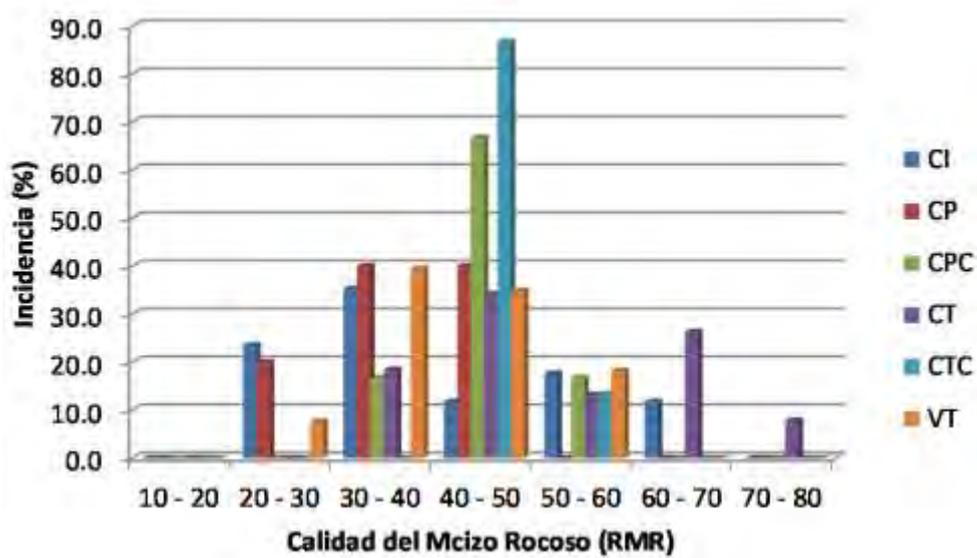
Se realizaron pruebas mecánicas de laboratorio para determinar los parámetros que interceden en la categorización de “macizo rocoso”, se realizaron mapeos minuciosos en los surgimientos y examen de los testigos de excavación.

Figura 23: “Análisis Estadístico de los Valores de RMR para la Veta Paola”



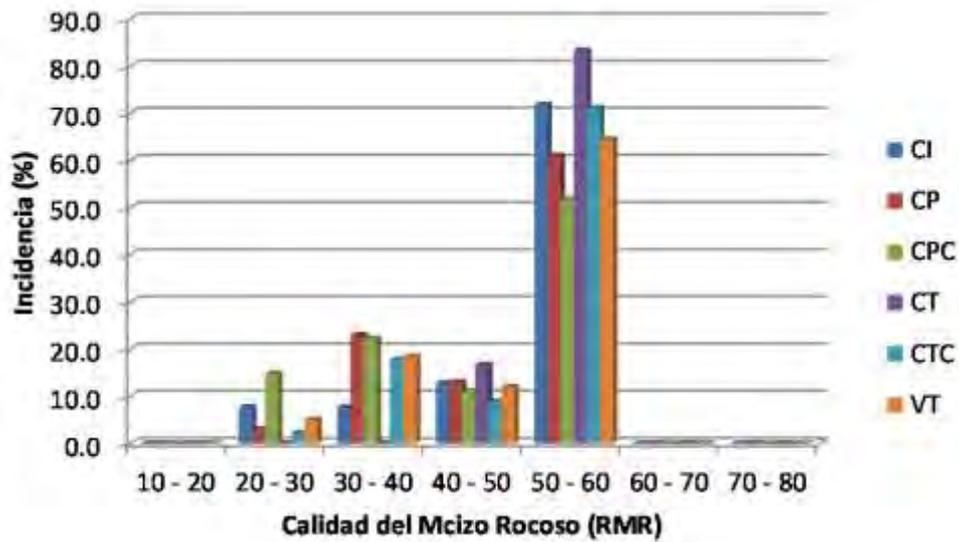
Fuente: Área de Geomecánica U.P. Tambomayo

Figura 24: Análisis Estadístico de los Valores de RMR para la Veta Paola_Techo



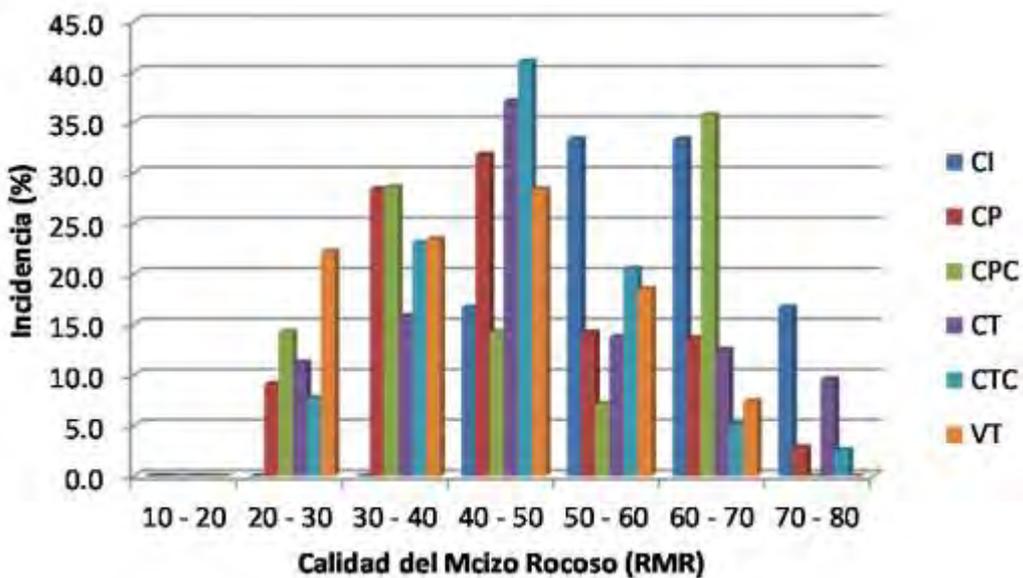
Fuente: Área de Geomecánica U.P. Tambomayo

Figura 25: Análisis Estadístico de los Valores de RMR para la Veta Paola_Norte_2



Fuente: Área de Geomecánica U.P. Tambomayo

Figura 26: Análisis Estadístico de los Valores de RMR para la Veta Paola_Techo_Norte_2



Fuente: Área de Geomecánica U.P. Tambomayo

Descripción: “CI= Caja intermedia; CP= Caja piso; CPC= Caja piso cercana; CT= Caja techo; CTC= Caja techo cercana; VT = Veta”

3.3.1.2. Dominios Geotécnicos

A finalidad de obtener los “dominios geotécnicos o zonas geotécnicas” con tipologías o constituyentes medianamente igualitarias, el macizo rocoso fue zonificado tomando en

cuenta los consecutivos puntos: “estructuras, geología, grado de fracturamiento (RQD), Índice RMR, propiedades de resistencia de la roca intacta, discontinuidades”. La denominación de área preponderante del compacto pedregoso fue dividida en “mineral, caja piso, caja piso cercana, caja techo, caja techo cercana y caja intermedia”. A continuación se presentan resumidos los índices de calidad representativos de cada dominio estructural .

Tabla 10: Resultados de los Índices y Calidad del Macizo Rocoso por cada Dominio Estructural

Domínios Geotécnicos	σ_{ci} (MPa)	RQD (%)	RMR	Q'	GSI
Paola	44	59	48	1.5	48
Caja_Intermedia	39	68	50	1.9	50
Caja_Piso	40	65	49	1.8	49
Caja_Piso_Cercana	53	63	52	2.4	52
Caja_Techo	64	87	58	4.6	58
Caja_Techo_Cercana	48	45	44	1	44
Veta	43	41	42	0.8	42
Paola_Techo	57	42	44	1	44
Caja_Intermedia	37	36	40	0.6	40
Caja_Piso	33	30	34	0.3	34
Caja_Piso_Cercana	56	37	44	1	44
Caja_Techo	48	64	51	2.1	51
Caja_Techo_Cercana	62	46	46	1.3	46
Veta	68	32	41	0.7	41
Paola_Norte	30	46	41	0.7	41
Caja_Intermedia	63	60	45	1.2	45
Caja_Piso	25	51	40	0.7	40
Caja_Piso_Cercana	70	58	50	2	50
Caja_Techo	16	39	37	0.5	37
Caja_Techo_Cercana	41	46	45	1.1	45
Veta	57	39	44	1	44
Paola_Norte_2	43	53	45	1.2	45
Caja_Intermedia	46	46	44	1	44
Caja_Piso	44	65	49	1.6	49
Caja_Piso_Cercana	64	52	48	1.6	48
Caja_Techo_Cercana	52	10	34	0.3	34
Veta	30	42	42	0.8	42
Paola_Techo_Norte	46	55	45	1.1	45
Caja_Intermedia	75	77	54	2.9	54
Caja_Piso	37	51	41	0.7	41
Caja_Piso_Cercana	38	86	54	3.2	54
Caja_Techo	36	55	44	1	44
Caja_Techo_Cercana	38	61	45	1.1	45
Veta	65	50	47	1.4	47
Paola_Techo_Norte_2	46	55	45	1.1	45
Caja_Intermedia	38	88	57	4.2	57
Caja_Piso	50	55	45	1.1	45
Caja_Piso_Cercana	51	52	47	1.4	47
Caja_Techo	46	61	47	1.4	47
Caja_Techo_Cercana	36	49	44	1	44
Veta	40	40	40	0.6	40
Paola_1	31	38	41	0.7	41
Caja_Intermedia	23	47	43	0.9	43
Veta	50	16	37	0.5	37
Paola_2	57	20	35	0.4	35
Caja_Intermedia	54	11	32	0.3	32
Caja_Techo	48	29	39	0.6	39
Caja_Techo_Cercana	34	18	34	0.3	34
Veta	75	10	32	0.3	32
Paola_3	61	18	41	0.7	41
Caja_Piso_Cercana	38	17	33	0.3	33
Caja_Techo_Cercana	75	20	44	1	44
Veta	38	13	35	0.3	35

Fuente: Área de Geomecánica - Tambomayo

Descripción: “ σ_{ci} (MPa)= Resistencia a la compresión; RQD (%)= Índice de calidad de roca; RMR= Clasificación de la masa rocosa; Q'= Q de Barton; GSI= Índice de resistencia geológica”

3.3.2. Mapeo Geomecánico del área de estudio By Pass NV 4540

Tabla 11: Mapeo Geomecánico Estación 054-ByPass 4540

DCR Ingenieros S.R.Ltda. Geotecnia en Minería y Obras Civiles		MAPEO GEOMECAÁNICO EN LABORES SUBTERRANEAS EVALUACION GEOMECAÁNICA DEL METODO DE MINADO DE MINA TAMBOMAYO										BUENAVENTURA MINA TAMBOMAYO											
PROYECTO:		ESTACION		ORIENTACION DE LA CAJA		TRAMO		UBICACION		NIVEL		REALIZADO		FECHA		HOJA							
E.054		054		090°		S		S		4540		CHIMBOTE		07/03/2018		54 de 53							
TIPO DE ROCA		FRECUENCIA FRACTURA		PARAMETRO		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)										VALOR							
LV AND		%		M Freq / no.		R COMPRESION UNIAIAL (MPa)																	
A		B		%		RSD %																	
LV AND		%		%		%																	
TIPO		ORIENTACION		ESPACIAMIENTO		RELLENO		CONDICION DE JUNTAS															
ENTRAC		DIRECCION		DIRECCION		TIPO		ESPESES		PERFORANZA													
D		090°		80°		4		Avc. Oa		< 1 mm													
D		090°		75°		4		Avc. Oa		< 1 mm													
D		090°		70°		4		Avc. Oa		< 1 mm													
D		090°		65°		4		Avc. Oa		< 1 mm													
D		100°		77°		4		Avc. Oa		< 1 mm													
D		100°		68°		4		Avc. Oa		< 1 mm													
D		120°		88°		4		Avc. Oa		< 1 mm													
D		140°		88°		2		Avc. Oa		< 1 mm													
D		127°		80°		4		Avc. Oa		< 1 mm													
D		302°		75°		5		Avc. Oa		< 1 mm													
D		330°		50°		5		Avc. Oa		< 1 mm													
D		000°		43°		5		Avc. Oa		< 1 mm													
D		320°		85°		5		Avc. Oa		< 1 mm													
D		310°		88°		4		Avc. Oa		< 1 mm													
D		330°		75°		5		Avc. Oa		< 1 mm													

CLASE DE MACIZO ROCOSO		VALOR TOTAL RMR (suma de valoracion 1 a 5) = 49											
RMR		100 - 81		80 - 61		60 - 51		40 - 31		30 - 21		20 - 0	
DESCRIPCION		I Muy Buena		II Buena		III Regular A		IV Regular b		V Mala A		VI Mala b	

% INCIERTE DE REBOTE			
J	ROD	J	ROD
5	91	15	55
6	88	16	52
7	84	17	48
8	81	18	44
9	77	19	40
10	74	20	36
11	70	21	33
12	66	22	29
13	63	23	26
14	59	24	22

ABREVIAC. TIPO DE ESTRUCTURAS			
D	Dársena	VI	Vento
F	Falla	VB	Volc

ABREVIACION DE TIPO DE ROCA			
MRI	Misral	AND	Andesita
LV AND	Lava andesita	OK	Diase

ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO			
Oa	Oxido	Ca	Caliche
Avc	Arcilla	Li	Limon
Ca	Carbonato	Py	Pirita

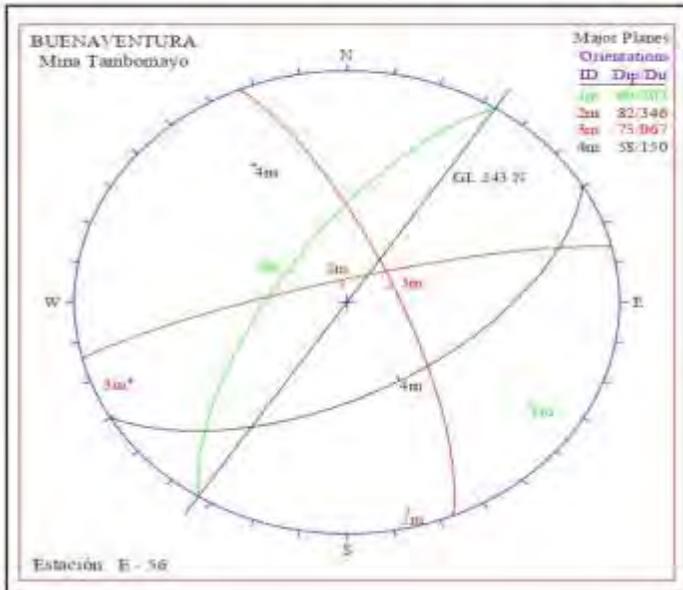
ABREVIACION ESPACIAMEN		RANGO UCS (MPa)	
1	< 2 m	R1	1 - 5
2	0.6 - 2 m	R2	5 - 25
3	0.2 - 0.6 m	R3	25 - 95
4	0.06 - 0.2 m	R4	50 - 100
5	< 0.06 m	R5	100 - 250
		R6	> 250

Fuente: Área de Geomecánica – Tambomayo

Tabla 12: Mapeo Geomecánico Estación 056-ByPass 4540

DCR Ingenieros S.R.Ltda. Geomecánica en Minería y Obras Civiles		MAPEO GEOMECANICO EN LABORES SUBTERRANEAS						BUENAVENTURA MINA TAMBOMAYO								
PROYECTO:		EVALUACION GEOMECANICA DEL METODO DE MINADO DE MINA TAMBOMAYO						REALIZADO								
ESTACION		ORIENTACION DE LA CARA		TRAMO		UBICACION		NIVEL		FECHA						
E 056		140° / 85°		0 / 4		SECTOR		4540		07/02/2018						
TIPO DE ROCA		FRECUECIA FRACTURA		PARAMETRO		VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)										
A		B		N° Fract. / m		RANGO DE VALORES (VALOR ESTIMADO)										
100		xxxx		19		R COMPRES UNIAXIAL (MPa)										
100		xxxx		19		RQD %										
100		xxxx		19		ESPACIAMIENTO (m)										
100		xxxx		19		CONDICION DE JUNTAS										
100		xxxx		19		AGUA SUBTERRANEA										
100		xxxx		19		VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 45										
100		xxxx		19		CLASE DE MACIZO ROCOSO										
100		xxxx		19		DESCRIPCION										
100		xxxx		19		III B										
TIPO ESTRUCT.	ORIENTACION		RELLENO		Comentarios		CONDICION DE JUNTAS									
	DIRECCION BUZ.	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	TIPO	ESPESOR		ESPACIAMIENTO (m)	PERSISTENCIA	ABERTURA	RUJOSIDAD	RELLENO	ALTERACION	AGUA SUBTERRANEA			
D	310°	50°	4	Arc	< 1 mm		<2	<1m long (9)	Cerrada (8)	Muy rugosa (8)	Limpia (8)	Seca (5)	Seco (15)			
D	315°	70°	4	Arc	< 1 mm		1-3 m Long (4)	1-3 m Long (4)	<0.1mm (5)	Rugosa (9)	Dura < 5mm (4)	Lig Alterada (5)	Humedo (18)			
D	315°	77°	4	Arc	< 1 mm		3-10m (2)	3-10m (2)	0.1-1.0mm (4)	Lig rugosa (3)	Suave < 5 mm (1)	Mod Alterada (3)	Mojado (7)			
D	309°	65°	4	Arc	< 1 mm		0.5-2 (15)	0.5-2 (15)	1-5 mm (1)	Lisa (1)	Suave > 5 mm (8)	Descompuesta (9)	Gotoso (4)			
D	285°	80°	4	Arc	< 1 mm		0.06-0.2 (8)	0.06-0.2 (8)	> 20 m (8)	Diapos de falla (2)	Diapos de falla (2)	Diapos de falla (2)	Flujo (6)			
D	295°	76°	4	Arc	< 1 mm		> 25 (3)	> 25 (3)	> 5 mm (5)	> 5 mm (5)	> 5 mm (5)	> 5 mm (5)	> 5 mm (5)			
D	340°	86°	4	Arc	< 1 mm		> 0.06 (5)	> 0.06 (5)	> 0.06 (5)	> 0.06 (5)	> 0.06 (5)	> 0.06 (5)	> 0.06 (5)			
D	345°	85°	4	Arc	< 1 mm		> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)			
D	003°	80°	4	Arc	< 1 mm		> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)			
D	335°	75°	4	Arc	< 1 mm		> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)			
D	150°	82°	4	Arc	< 1 mm		> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)			
D	150°	55°	4	Arc	< 1 mm		> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)			
D	060°	75°	4	Arc	< 1 mm		> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)			
D	070°	80°	4	Arc	< 1 mm		> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)			
D	070°	70°	4	Arc	< 1 mm		> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)	> 25 (3)			
ABREVIAC. TIPO DE ESTRUCTURAS		ABREVIACION DE TIPO DE ROCA		ABREVIACION DE TIPO DE RELLENO		RANGO UCS (MPa)		MAYOR PLANES								
D	Diacosa	Vt	Veta	Mif	Mineral	AND	Andecita	BUENAVENTURA								
F	Falla	VH	Verilla	TX-AND	Toba brecha and	DK	Dique	Mina Tambomayo								
Ox	Oxido	Cal	Calcita	MAYOR PLANES		MAYOR PLANES										
Arc	Arcilla	Lm	Limos	MAYOR PLANES		MAYOR PLANES										
Cb	Carbonatos	Py	Pyrita	MAYOR PLANES		MAYOR PLANES										
R1	1-5	MAYOR PLANES		MAYOR PLANES												
R2	5-25	MAYOR PLANES		MAYOR PLANES												
R3	25-60	MAYOR PLANES		MAYOR PLANES												
R4	60-100	MAYOR PLANES		MAYOR PLANES												
R5	100-250	MAYOR PLANES		MAYOR PLANES												
R6	> 250	MAYOR PLANES		MAYOR PLANES												

RL (NUMERO DE REBOTE)			
J	R30	J	RQD
5	91	15	55
6	88	16	52
7	94	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



Fuente: Área de Geomecánica - Tambomayo

CAPITULO IV:

IV. EVALUACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1. Características técnicas del área de estudio BYPASS NV 4540

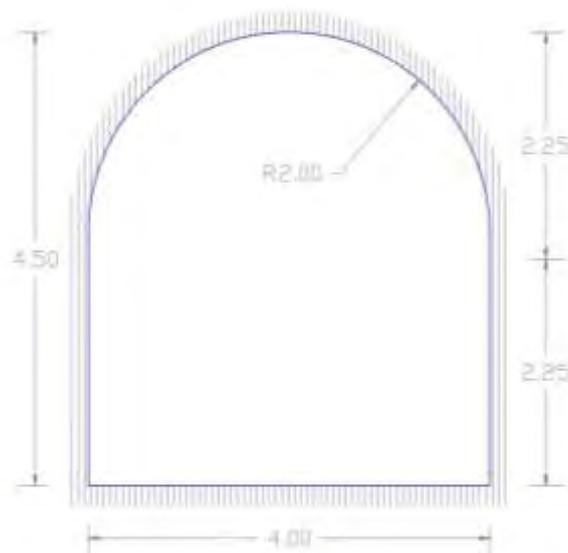
La longitud total del ByPass es de 230 ml como se evidencia en la figura, el cual se detalla en el Anexo 2.



Fuente: “Área de Geomecánica U.P. Tambomayo”

Las características de la elemento del By Pass son, de 4 metros de ancho y 4.5 de altura, el cual se ve en la figura; esta sección fue adoptada para el movimiento de los equipos dentro de la labor.

Figura 27: Sección típica del By Pass Nv 4540

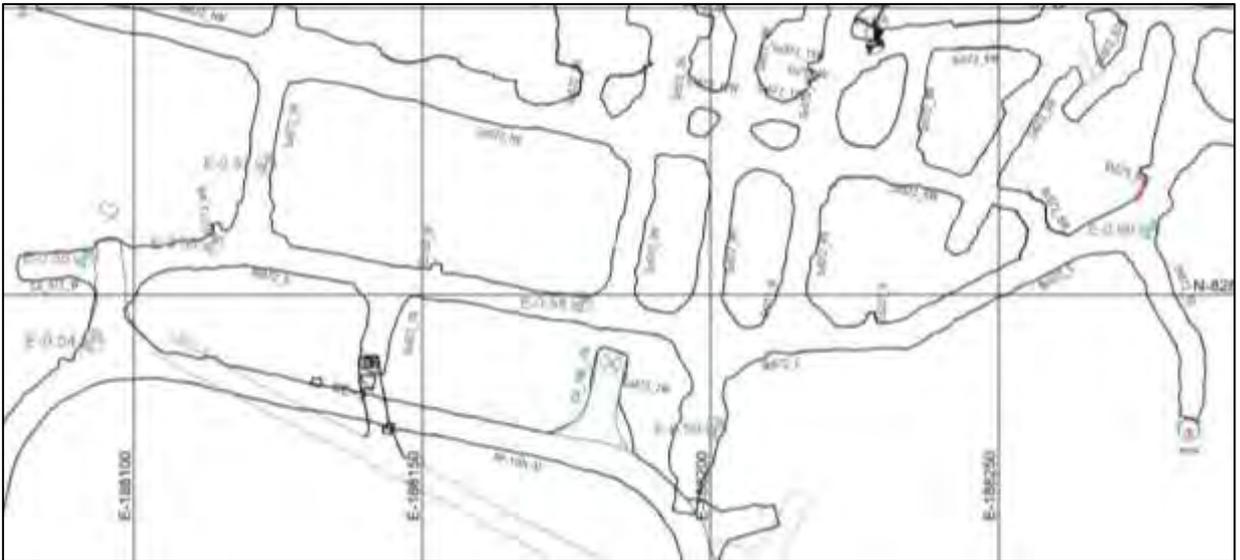


Fuente: Área de Geomecánica

4.2. Selección del tipo de sostenimiento

4.2.1. Características geomecánicas de la Zona

Figura 28: Ubicación de estaciones de mapeo geomecánico



Fuente: Área de Geomecánica U.P. Tambomayo

De acuerdo al mapeo geomecánico dispuesto por el área de Geomecánica de la U.P. Tambomayo, el By Pass está caracterizado por una clase de macizo rocoso de III-B entre 43 a 51 de RMR. La ubicación de las guarniciones se encuentra en el plano del Anexo 2.

Tabla 15: Características geomecánicas del By Pass NV-4540

Estación (E)	RMR	Calidad de Macizo Rocoso	Clase de Macizo Rocoso
054	49	Regular -B	III-B
056	45	Regular -B	III-B
058	43	Regular -B	III-B
060	51	Regular -A	III-A

Fuente: Área de Geomecánica

4.2.2. Parámetros de selección

Se desarrolló el cálculo del perímetro de la sección:

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

$$p' = \pi R + 2h'$$

Ó

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

Donde:

p' = Perímetro teórico de la sección

R = Radio de la sección

h' = altura perpendicular de la sección

a = Ancho de la sección

h = Altura total de la sección

Reemplazando en la fórmula:

Para $h= 4.5$ y $a= 4.0$

$$p' = 2(4.5) + \frac{(4.0)}{2}(3.1416 - 2.25)$$

$$p' = 10.78$$

Calculo 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

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

El incremento de perímetro unitario será :

$$p=1+0,25=1,25m. \text{ (Dimensión unitaria)}$$

Calculo de perímetro real:

$$p=10.78*(1,25)=13.48m. \text{ “(Dimensión real del perímetro Shotcreteado)”}.$$

En la propiedad se evaluará con una cinta de lona sobre la superficie rugosa, obteniendo una proporción de aumento, en relación a la extensión del eje del By Pass

Para el cálculo del espesor del shotcrete, la el área de Geomecánica de la Mina Tambomayo sugiere que este sea de 2", ya que según el diseño de sostenimiento para RMR IIIB, sugiere que el espesor debe de ser de 5cm.

Parámetros para el cálculo de volumen de Shotcrete, el área de Geomecánica de la Mina Tambomayo determino, que la rugosidad es el 30% y el rebote al lanzado con equipo vía húmeda es de 25%.

4.2.3. Selección del tipo de sostenimiento aplicable

Para la selección del tipo de sostenimiento la Empresa Robocon, lo realiza con el RMR de la roca de la labor, para el By Pass se tiene la clasificación de RMR III-B por lo que la empresa sugiere el espesor de shotcrete de 2" (0.0508m); utilizando la tabla siguiente:

Tabla 16: Cuadro de estimación de sostenimiento a partir de RMR

Clase	RMR	Excavación Pase	Sostenimiento		
			Bulones	Shotcrete	Cerchas
I – Muy buena	81 – 100	Sección completa 3m	Ocasionalmente	No necesario	No necesarias
II – Buena	61 – 80	Sección completa 1-1.5m. Sostenimiento terminado a 20m del avance	Localmente en 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

Fuente: RMR. Bieniawski, 1989 .

De acuerdo a esta selección, el área de Geomecánica, recomienda el lanzado de Shotcrete de un espesor de 2", con pernos sistemáticos de hasta 4m, espaciado en 1.5m.

4.2.3.1. Descripción de las características técnicas del shotcrete

4.2.3.1.1. Arena Mollocco

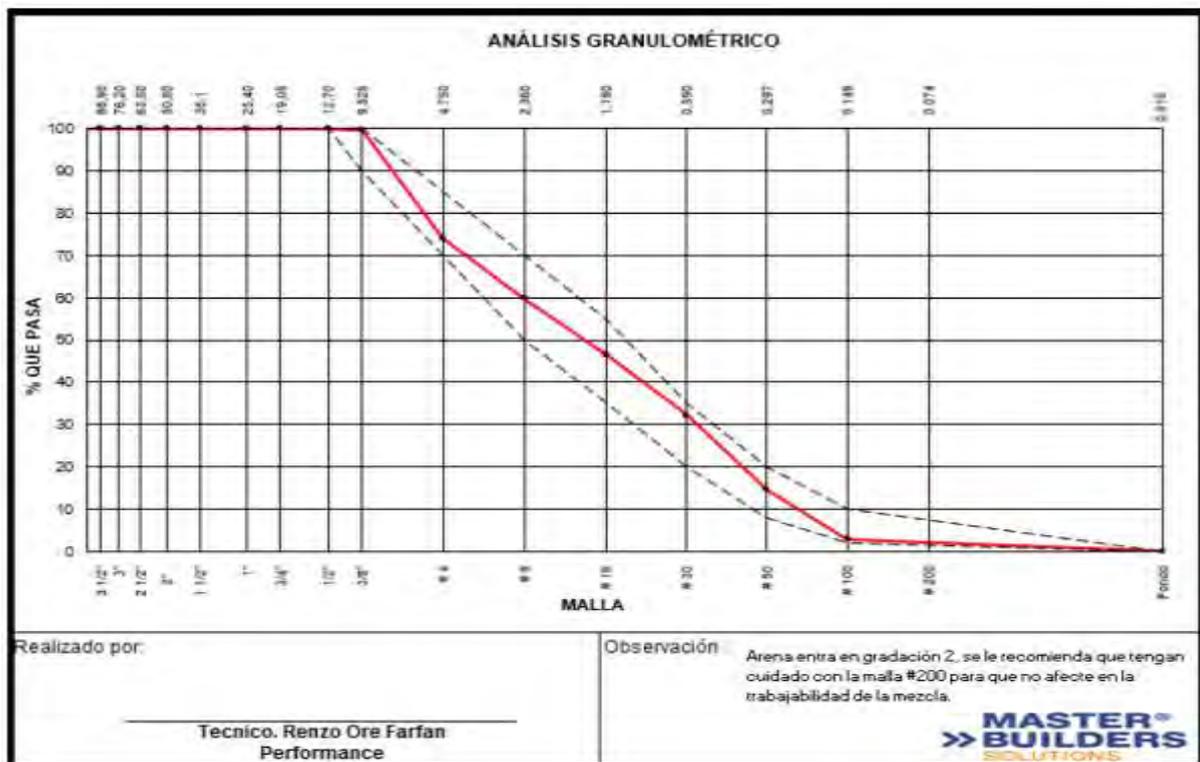
Para la producción del shotcrete se realizó los ensayos de las características físicas de los agregados, los que se realizó en los laboratorios de ROBOCON de la mina.

Tabla 17: Características de arena Mollocco

Especificación	Resultado de ensayo (%)	Limites según la ASTM C117 (%)
Material pasante el tamiz #200	4.95	5.00 max.
Gravedad específica	2.42	No indica
Adsorción	3.41	No indica
Contenido de humedad	11.75	No indica
Modulo fineza	3.56	2.3 – 3.1

Fuente: Laboratorio Robocon

Figura 29: Resultado de Gradación 2 – Para producción de shotcrete con Arena Mollocco



Fuente: Área de Geomecánica U.P. Tambomayo

Imagen 1: Cantera de Arena Mollocco



Fuente: Propia

4.2.3.1.2. Cemento Yura HE

“Yura, HE” es un cemento industrial portland hecho siguiendo los más estrictos estándares de las industrias del cemento, este producto está elaborado utilizando “Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso”. De fabricación controlada según el sistema de gestión de calidad.

Características técnicas

- Peso específico (gr/cm³): 2.90 a 3.00
- Superficie específica Blaine (cm²/gr): 4400 a 5000
- Expansión en autoclave (%): “-0.03 a -0.04”
- Fraguado vitcat inicial (minutos): 140 a 200
- Contenido aire mortero (%): 3.0 a 7.0

Imagen 2: Depósitos de cemento en planta



Fuente: Propia

4.2.3.1.3. Neoplast 8500 HP

NEOPLAST 8500 HP es un aditivo utilizado en mezclas de concreto especialmente, este aporta un aumento en el tiempo de trabajabilidad, reduce en alto rango la cantidad de agua sin retardos y optimiza el cemento para preparados de concreto, por su diseño puede ser usado tanto en climas cálidos como fríos.

Características y beneficios

- Produce concretos fluidos sin retardo
- Permite que el concreto o mortero sea transportado a largas distancias
- Reduce más de 45% del agua de amasado”.
- Reduce la segregación y exudación en el concreto plástico
- Reduce las fisuras y permeabilidad en el concreto endurecido

4.2.3.1.4. Euco Sureshot AF

EUCO SURESHOT AF consta de un añadido líquido , el cual no contiene de álcalis ni cloruros, este se usa para reducir los periodos de forjado al tiempo que apresura el progreso de “aguantes mecánicas inaugurales” de los concretos ó machacados lanzados, por “vía húmeda ó vía seca”, manteniendo las resistencias finales.

Características y beneficios

- Rápido endurecimiento y reducción del tiempo de fraguado
- Bajo porcentaje de rebote
- Mínima segregación de la mezcla
- No produce pérdidas de resistencia final
- Mayor velocidad de ejecución de capas sucesiva
- Alta resistencia inicial

4.2.3.2. Selección de la fibra – Características

4.2.3.2.1. Fibra sintética “MPH FiberPlus 60”

Es la fibra sintética estructural más larga del mercado. Característicamente conveniente cuando se desean acabados de gran tamaño, sobre todo a elevadas imperfecciones. Usos pertinentes para hormigón proyectado y prefabricados de hormigón.

Características técnicas

- Materia Prima: Polipropileno Copolímero.
- Absorción de humedad: NULA
- Resistencia a la tensión: 560 MPa. EN ISO 6892-1:2009
- Longitud de la fibra: 60 mm
- Diámetro equivalente=0,92 mm aprox.
- Para hormigones proyectados, la dosificación recomendada está entre 3kg/m³ y 10 kg/m³.

4.2.3.2.2. Fibra metálica Wirand FF3

Las fibras de acero Winrad son empleadas para reforzar el concreto, se fabrican con hilos de acero de bajo tenor de carbono, al agregar estos al concreto estos actúan como una armadura en tres dimensiones, limitando la dispersión de fisuras y acrecentando la firmeza pos-fisuración del elemento estructural.

Características técnicas

- Materia Prima: Acero.
- Absorción de humedad: NULA

- Resistencia a la tensión: 1200 MPa (Según ACI 544.3R-08)
- Longitud de la fibra: 50 mm
- Diámetro equivalente=0,75 mm aprox.
- Para hormigones proyectados, la dosificación recomendada está entre 10kg/m³ y 30 kg/m³

4.2.3.3. *Diseño de mezcla del shotcrete*

4.2.3.3.1. *Relación A/C para shotcrete*

“La relación agua – cemento A/C calculada por los laboratorios de la Empresa Robocon, es de 0.45; que de acuerdo a esta relación se hizo el diseño de mezcla correspondiente”.

4.2.3.3.2. *Determinación de componentes del shotcrete según la fibra*

Se ha determinado en laboratorio de la Empresa Robocon, los siguientes componentes de acuerdo a los ensayos realizados con el Shotcrete:

Tabla 18: Cantidad de componentes de shotcrete con fibra sintética

N ^a	MATERIAL	Tipo de Concreto A/C=0.45			
		PESO SSS		PESO SECO (OBRA)	PESO HUMEDO (OBRA)
		W _{sss}	V _{sss}		
1	Cemento Yura HE	425.0000	0.1451	425.0000	425.0000
2	Agua	193.0000	0.1930	193.0000	65.0000
3	Arena Molloco (100%)	1576.0000	0.6271	1528.0000	1703.0000
4	Neoplast 8500 (0.942%)	4.0040	0.0036	4.0040	4.0000
5	Euco Sureshot (9%)	38.2500	0.0269	38.2500	38.0000
6	Fibra Sintética Myphor	4.0000	0.0043	4.0000	4.0000
PESO TOTAL		2240.2540	1.0000	2192.2540	2239.0000

Fuente: Laboratorio de Empresa Robocon

Tabla 19: Cantidad de componentes de shotcrete con fibra metálica

N ^a	MATERIAL	Tipo de Concreto A/C=0.45
----------------	----------	---------------------------

		PESO SSS			
		Wsss	Vsss	PESO SECO (OBRA)	PESO HUMEDO (OBRA)
1	Cemento Yura HE	425.0000	0.1451	425.0000	425.0000
2	Agua	193.0000	0.1930	193.0000	65.0000
3	Arena Molloco (100%)	1580.0000	0.6288	1533.0000	1708.0000
4	Neoplast 8500 (0.942%)	4.0040	0.0036	4.0040	4.0000
5	Euco Sureshot (9%)	38.2500	0.0269	38.2500	38.0000
6	Fibra Metálica Maccaferri	20.0000	0.0026	20.0000	20.0000
PESO TOTAL		2260.2540	1.0000	2213.2540	2260.0000

Fuente: Laboratorio de Empresa Robocon

Los ensayos realizados para la determinación de los componentes, así como cantidades del Shotcrete se realizó en condiciones normales de las labores y de conformidad con las especificaciones técnicas al concreto fresco, así como son, el Slum según Norma STM C-143, Temperatura del concreto fresco según Norma ASTM C-1064 y muestreo de probetas de 4” y 8” según Norma ASTM C-172.

Imagen 3: Llenado del cono de Abrams y medición del Slum con el concreto fresco



Fuente: Propia

Imagen 4: Concreto fresco para el lanzado



Fuente: Propia

4.2.3.3.3. *Ensayo de panel*

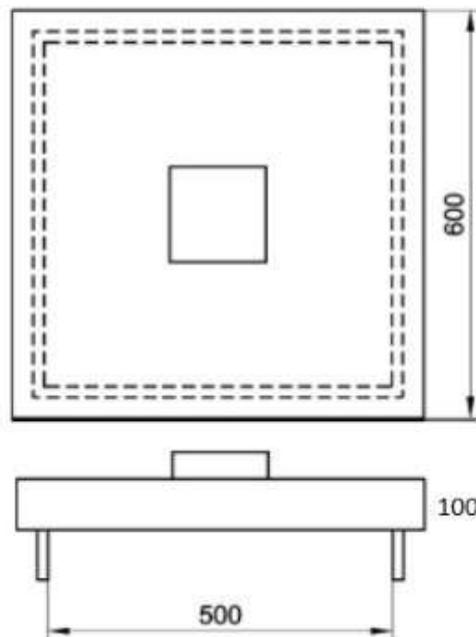
En sus inicios se diseñaron los “ensayos de panel” con el fin de evaluar las características del hormigón proyectado. Por esto se siguen aplicando estos ensayos y métodos para estudiar los hormigones proyectados reforzados con fibras metálicas.

Panel de sección cuadrada - EN14488-5

Este estudio radica en emplear un peso exacto en el centro de un cuadro apuntalado en cuatro lados. Las extensiones de este son $100 \times 600 \times 600$ mm y las figuras de soporte constituyen una base cuadrada de 500×500 mm apoyado meramente sobre cuatro figuras exteriores situadas en una plataforma plana cuadrada de 500×500 mm

Para el ensayo los paneles que se utilizaron con una capa no menor a los 100 mm de espesor

Figura 30: Ensayo de panel de sección cuadrada



Fuente: EN 14488-5

Imagen 5: Lanzado del concreto fresco en la labor a los paneles de ensayo



Fuente: propia

4.2.3.3.4. Resistencia temprana del shotcrete

Para la realización de las pruebas de resistencia temprana se usó la norma española EN 14488-2, con el método del hincado del clavo, con el cual se utilizó la pistola Hilti DX-450-L, del cual se tomó los datos correspondientes con el siguiente procedimiento:

Se procedió a llenar los paneles de concreto fresco dentro de la labor para realizar los ensayos de resistencias tempranas de este.

Imagen 6: Llenado de paneles de ensayo de shotcrete



Fuente Propia

Se realizó el disparo de 10 clavos o pernos de 110 mm, en dispersos puntos del panel cuadrado de los ensayos realizados en la labor a las 4 horas.

Imagen 7: Ensayo de resistencia temprana con pistola Hitin y clavos de 110mm



Fuente: Propia

Imagen 8: Vista de los Clavos en el panel de shotcrete



Fuente: Propia

Se realizó la medición de la longitud de penetración del clavo o perno.

Imagen 9: Medición de longitud de penetración del clavo



Fuente: Propia

Se realizó la medición de carga de tracción de los clavos o pernos ejercidos.

Imagen 10: Medición de carga de tracción de clavos



Fuente: Propia

CAPITULO V:

V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis del aspecto técnico

5.1.1. Ensayo de resistencia temprana con fibra sintética

La investigación de resistencia temprana con fibra sintética se hizo en 05 ensayos con Pistola Hilti DX450, en los que se realizaron 10 disparos por cada ensayo realizado en los paneles. Los disparos realizados son para comprobar la “saliente del perno o clavo (NVS)”, así como para los testigos para la experimento de aguante a la tensión

Tabla 20: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra sintética 1

CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON									
DX 450-SCT: (CON EQUIPAMIENTO L), CARTUCHO VERDE / FIBRA SINTETICA									
DATA: 11-01-2018	TEMPERATURA DE LABOR:	TEMPERATURA MEZCLA: 15.1 °C			EJECUTADO POR: ALONSO TEJADA				
LABOR: BP 572	ZONA/NIVEL: 4540	CEMENTO: TIPO HE			ACELERANTE: EUCCO SURESHOT AF (9%)				
Hora (h:min)	Tiempo tras completarse el gunitado (1) -t0 (h:min)	Tipo de perno/Longitud total Ltotal (mm)	Saliente NVS (mm)	Penetración hnom = Ltot - NVS (mm)	Lectura de la carga de traccion Nu (N)	Carga de tracción real Nu' (N)	Nu'/hnom (N/mm)	Media Nu'/hnom Sum Nu'/hnom/10 (N/mm)	Resistencia del hormigon fc Lectura del grafico FX-7
t1		Todas las mediciones y calculos estan en el mismo orden de colocacion de pernos							
00:00	4:00 h	110 mm	11	99	2800		28.28	28.71	4.08
			14	96	2700		28.13		
			15	95	2700		28.42		
			18	92	2800		30.43		
			17	93	2700		29.03		
			11	99	2700		27.27		
			13	97	2800		28.87		
			15	95	2700		28.42		
			15	95	2800		29.47		
			16	94	2700		28.72		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra sintética 2

CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON									
DX 450-SCT: (CON EQUIPAMIENTO L), CARTUCHO VERDE / FIBRA SINTETICA									
DATA: 12-01-2018	TEMPERATURA DE LABOR:	TEMPERATURA MEZCLA: 15.2 °C			EJECUTADO POR: ALONSO TEJADA				
LABOR: BP 572	ZONA/NIVEL: 4540	CEMENTO: TIPO HE			ACELERANTE: EUCO SURESHOT AF (9%)				
Hora (h:min)	Tiempo tras completarse el gunitado (1) -t0 (h:min)	Tipo de perno/Longitud total Ltotal (mm)	Saliente NVS (mm)	Penetración hnom = Ltot - NVS (mm)	Lectura de la carga de tracción Nu (N)	Carga de tracción real Nu' (N)	Nu'/hnom (N/mm)	Media Nu'/hnom Sum Nu'/hnom/10 (N/mm)	Resistencia del hormigón fc Lectura del grafico FX-7
t1		Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos							
23:55	4:00 h	110 mm	13	97	2700		27.84	28.58	4.07
			12	98	2800		28.57		
			16	94	2700		28.72		
			15	95	2700		28.42		
			19	91	2700		29.67		
			16	94	2800		29.79		
			15	95	2700		28.42		
			14	96	2700		28.13		
			18	92	2600		28.26		
			17	93	2600		27.96		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra sintética 3

CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON									
DX 450-SCT: (CON EQUIPAMIENTO L), CARTUCHO VERDE / FIBRA SINTETICA									
DATA: 13-01-2018	TEMPERATURA DE LABOR:		TEMPERATURA MEZCLA: 15.3 ° C			EJECUTADO POR: ALONSO TEJADA			
LABOR: BP 572	ZONA/NIVEL: 4540	CEMENTO: TIPO HE			ACELERANTE: EUCO SURESHOT AF (9%)				
Hora (h:min)	Tiempo tras completarse el gunitado (1) -t0 (h:min)	Tipo de perno/Longitud total Ltotal (mm)	Saliente NVS (mm)	Penetración hnom = Ltot - NVS (mm)	Lectura de la carga de tracción Nu (N)	Carga de tracción real Nu' (N)	Nu'/hnom (N/mm)	Media Nu'/hnom Sum Nu'/hnom/10 (N/mm)	Resistencia del hormigón fc Lectura del grafico FX-7
t1		Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos							
23:35	4:00 h	110 mm	18	92	2700		29.35	28.77	4.09
			16	94	2700		28.72		
			16	94	2700		28.72		
			17	93	2600		27.96		
			17	93	2700		29.03		
			16	94	2800		29.79		
			15	95	2600		27.37		
			14	96	2700		28.13		
			16	94	2800		29.79		
			13	97	2800		28.87		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra sintética 4

CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON									
DX 450-SCT: (CON EQUIPAMIENTO L), CARTUCHO VERDE / FIBRA SINTETICA									
DATA: 14-01-2018	TEMPERATURA DE LABOR:	TEMPERATURA MEZCLA: 15.3 ° C			EJECUTADO POR: ALONSO TEJADA				
LABOR: BP 572	ZONA/NIVEL: 4540	CEMENTO: TIPO HE			ACELERANTE: EUCO SURESHOT AF (9%)				
Hora (h:min)	Tiempo tras completarse el gunitado (1) -t0 (h:min)	Tipo de perno/Longitud total Ltotal (mm)	Saliente NVS (mm)	Penetración hnom = Ltot - NVS (mm)	Lectura de la carga de tracción Nu (N)	Carga de tracción real Nu' (N)	Nu'/hnom (N/mm)	Media Nu'/hnom Sum Nu'/hnom/10 (N/mm)	Resistencia del hormigón fc Lectura del grafico FX-7
t1		Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos							
23:45	4:00 h	110 mm	12	98	2800		28.57	28.87	4.10
			16	94	2800		29.79		
			18	92	2700		29.35		
			15	95	2800		29.47		
			16	94	2700		28.72		
			15	95	2700		28.42		
			12	98	2700		27.55		
			16	94	2800		29.79		
			14	96	2800		29.17		
			13	97	2700		27.84		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra sintética 5

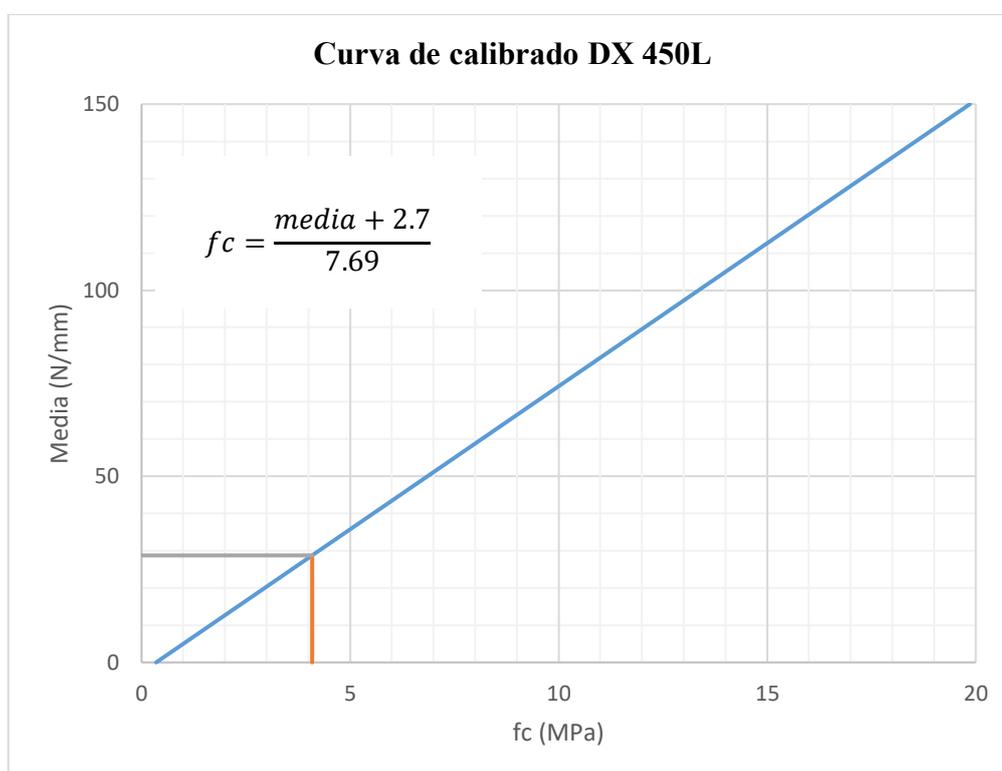
CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON DX 450-SCT: (CON EQUIPAMIENTO L), CARTUCHO VERDE / FIBRA SINTETICA									
DATA: 15-01-2018	TEMPERATURA DE LABOR:	TEMPERATURA MEZCLA: 15.2 °C			EJECUTADO POR: ALONSO TEJADA				
LABOR: BP 572	ZONA/NIVEL: 4540	CEMENTO: TIPO HE			ACELERANTE: EUCO SURESHOT AF (9%)				
Hora (h:min)	Tiempo tras completarse el gunitado (1) -t0 (h:min)	Tipo de perno/Longitud total Ltotal (mm)	Saliente NVS (mm)	Penetración hnom = Ltot - NVS (mm)	Lectura de la carga de tracción Nu (N)	Carga de tracción real Nu' (N)	Nu'/hnom (N/mm)	Media Nu'/hnom Sum Nu'/hnom/10 (N/mm)	Resistencia del hormigón fc Lectura del grafico FX-7
t1		Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos							
23:50	4:00 h	110 mm	15	95	2800		29.47	28.82	4.10
			16	94	2700		28.72		
			13	97	2700		27.84		
			12	98	2800		28.57		
			13	97	2700		27.84		
			18	92	2700		29.35		
			15	95	2800		29.47		
			16	94	2700		28.72		
			15	95	2800		29.47		
			16	94	2700		28.72		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Resumen de los ensayos de resistencia a la compresión

Fecha	Media Nu'/hnom Sum Nu'/hnom/10 (N/mm)	Resistencia del hormigón fc Lectura del grafico FX-7
11/01/2018	28.71	4.08
12/01/2018	28.58	4.07
13/01/2018	28.77	4.09
14/01/2018	28.87	4.10
15/01/2018	28.82	4.10
Promedio	28.75	4.09

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tras las realizaciones de los ensayos a las resistencias tempranas se obtuvo el resultado promedio de 4.09 Mpa a las 4 horas de edad del Shotcrete con fibra sintética.

5.1.2. Ensayo de resistencia temprana con fibra metálica

Tabla 26: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra metálica 1

CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON									
DX 450-SCT: (CON EQUIPAMIENTO L), CARTUCHO VERDE / FIBRA METALICA									
DATA: 26-01-2018	TEMPERATURA DE LABOR:	TEMPERATURA MEZCLA: 15.3 °C			EJECUTADO POR: ROGER ZAMORA G.				
LABOR: BP 572	ZONA/NIVEL: 4540	CEMENTO: TIPO HE			ACELERANTE: EUCO SURESHOT AF 10%)				
Hora (h:min)	Tiempo tras completarse el gunitado (1) -t0 (h:min)	Tipo de perno/Longitud total Ltotal (mm)	Saliente NVS (mm)	Penetración hnom = Ltot - NVS (mm)	Lectura de la carga de tracción Nu (N)	Carga de tracción real Nu' (N)	Nu'/hnom (N/mm)	Media Nu'/hnom Sum Nu'/hnom/10 (N/mm)	Resistencia del hormigón fc Lectura del grafico FX-7
t1		Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos							
23:45	4:00 h	110 mm	30	80	2900		36.25	33.86	4.75
			31	79	2500		31.65		
			20	90	2300		25.56		
			20	90	2500		27.78		
			29	81	3000		37.04		
			30	80	2800		35.00		
			20	90	2700		30.00		
			23	87	3200		36.78		
			33	77	3300		42.86		
			26	84	3000		35.71		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra metálica 2

CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON									
DX 450-SCT: (CON EQUIPAMIENTO L), CARTUCHO VERDE / FIBRA METALICA									
DATA: 27-01-2018	TEMPERATURA DE LABOR:	TEMPERATURA MEZCLA: 15.1 ° C			EJECUTADO POR: ROGER ZAMORA G.				
LABOR: BP 572	ZONA/NIVEL: 4540	CEMENTO: TIPO HE			ACELERANTE: EUCO SURESHOT AF 10%)				
Hora (h:min)	Tiempo tras completarse el gunitado (1) -t0 (h:min)	Tipo de perno/Longitud total Ltotal (mm)	Saliente NVS (mm)	Penetración hnom = Ltot - NVS (mm)	Lectura de la carga de tracción Nu (N)	Carga de tracción real Nu' (N)	Nu'/hnom (N/mm)	Media Nu'/hnom Sum Nu'/hnom/10 (N/mm)	Resistencia del hormigón fc Lectura del grafico FX-7
t1		Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos							
23:50	4:00 h	110 mm	25	85	3000		35.29	32.77	4.61
			30	80	2600		32.50		
			28	82	2700		32.93		
			26	84	2400		28.57		
			26	84	2800		33.33		
			28	82	2700		32.93		
			26	84	2600		30.95		
			25	85	2800		32.94		
			26	84	2900		34.52		
			27	83	2800		33.73		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra metálica 3

CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON									
DX 450-SCT: (CON EQUIPAMIENTO L), CARTUCHO VERDE / FIBRA METALICA									
DATA: 28-01-2018	TEMPERATURA DE LABOR:		TEMPERATURA MEZCLA: 15.1 °C			EJECUTADO POR: ROGER ZAMORA G.			
LABOR: BP 572	ZONA/NIVEL: 4540	CEMENTO: TIPO HE			ACELERANTE: EUCO SURESHOT AF 10%				
Hora (h:min)	Tiempo tras completarse el gunitado (1) -t0 (h:min)	Tipo de perno/Longitud total Ltotal (mm)	Saliente NVS (mm)	Penetración hnom = Ltot - NVS (mm)	Lectura de la carga de tracción Nu (N)	Carga de tracción real Nu' (N)	Nu'/hnom (N/mm)	Media Nu'/hnom Sum Nu'/hnom/10 (N/mm)	Resistencia del hormigón fc Lectura del grafico FX-7
t1		Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos							
23:40	4:00 h	110 mm	27	83	2700		32.53	32.04	4.52
			29	81	2800		34.57		
			24	86	2500		29.07		
			28	82	2600		31.71		
			30	80	3200		40.00		
			28	82	2600		31.71		
			26	84	2400		28.57		
			24	86	2500		29.07		
			26	84	2400		28.57		
			29	81	2800		34.57		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra metálica 4

CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON									
DX 450-SCT: (CON EQUIPAMIENTO L), CARTUCHO VERDE / FIBRA METALICA									
DATA: 29-01-2018	TEMPERATURA DE LABOR:	TEMPERATURA MEZCLA: 15.2 °C			EJECUTADO POR: ROGER ZAMORA G.				
LABOR: BP 572	ZONA/NIVEL: 4540	CEMENTO: TIPO HE			ACELERANTE: EUCO SURESHOT AF 10%)				
Hora (h:min)	Tiempo tras completarse el gunitado (l) -t0 (h:min)	Tipo de perno/Longitud total Ltotal (mm)	Saliente NVS (mm)	Penetración hnom = Ltot - NVS (mm)	Lectura de la carga de tracción Nu (N)	Carga de tracción real Nu' (N)	Nu'/hnom (N/mm)	Media Nu'/hnom Sum Nu'/hnom/10 (N/mm)	Resistencia del hormigón fc Lectura del grafico FX-7
t1		Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos							
23:30	4:00 h	110 mm	29	81	2700		33.33	33.59	4.72
			30	80	2900		36.25		
			25	85	2600		30.59		
			28	82	2700		32.93		
			30	80	2900		36.25		
			27	83	2800		33.73		
			29	81	2600		32.10		
			24	86	2500		29.07		
			28	82	2700		32.93		
			30	80	3100		38.75		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Ensayo de resistencia a la compresión con fibra metálica 5

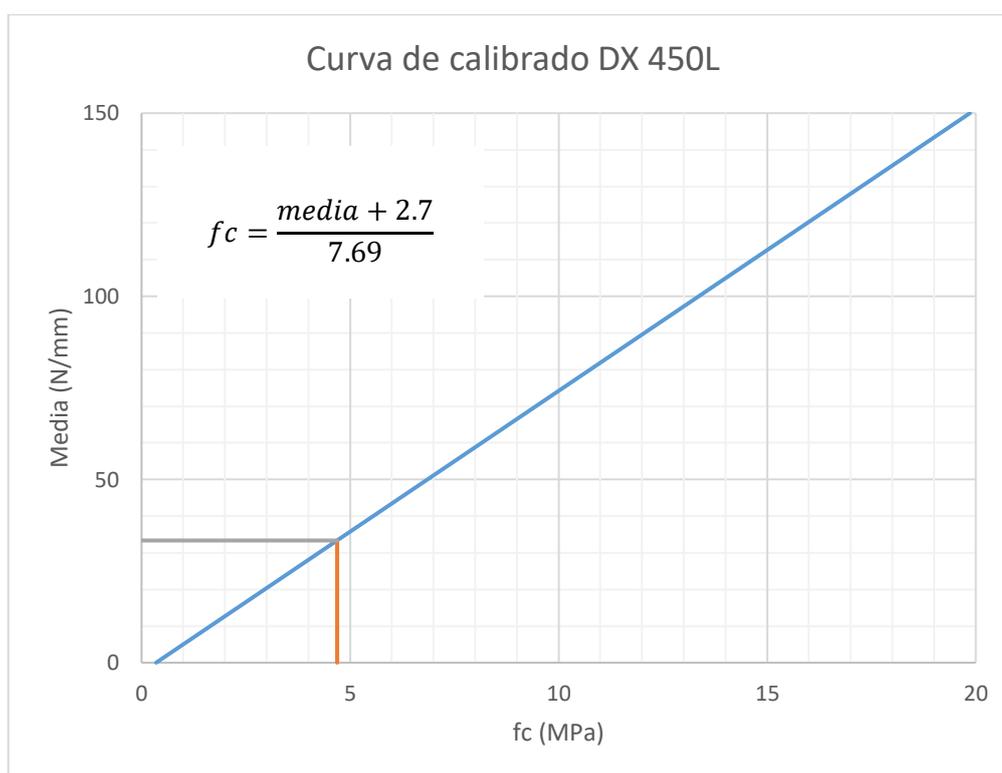
CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON									
DX 450-SCT: (CON EQUIPAMIENTO L), CARTUCHO VERDE / FIBRA METALICA									
DATA: 30-01-2018	TEMPERATURA DE LABOR:	TEMPERATURA MEZCLA: 15.3 °C			EJECUTADO POR: ROGER ZAMORA G.				
LABOR: BP 572	ZONA/NIVEL: 4540	CEMENTO: TIPO HE			ACELERANTE: EUCO SURESHOT AF 10%)				
Hora (h:min)	Tiempo tras completarse el gunitado (l) -t0 (h:min)	Tipo de perno/Longitud total Ltotal (mm)	Saliente NVS (mm)	Penetración hnom = Ltot - NVS (mm)	Lectura de la carga de traccion Nu (N)	Carga de tracción real Nu' (N)	Nu'/hnom (N/mm)	Media Nu'/hnom Sum Nu'/hnom/10 (N/mm)	Resistencia del hormigón fc Lectura del grafico FX-7
t1		Todas las mediciones y cálculos están en el mismo orden de colocación de pernos							
23:55	4:00 h	110 mm	26	84	2700		32.14	34.49	4.84
			30	80	3100		38.75		
			28	82	2600		31.71		
			27	83	2800		33.73		
			30	80	2900		36.25		
			32	78	3000		38.46		
			25	85	2600		30.59		
			23	87	2500		28.74		
			30	80	2900		36.25		
			29	81	3100		38.27		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Resumen de los ensayos de resistencia a la compresión

Fecha	Media Nu'/hnom Sum Nu'/hnom/10 (N/mm)	Resistencia del hormigón fc Lectura del grafico FX-7
26/01/2018	33.86	4.75
27/01/2018	32.77	4.61
28/01/2018	32.04	4.52
29/01/2018	33.59	4.72
30/01/2018	34.49	4.84
Promedio	33.35	4.69

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Tras las realizaciones de los ensayos a las resistencias tempranas se obtuvo el resultado promedio de 4.69 Mpa a las 4 horas de edad del Shotcrete con fibra metálica.

5.2. Análisis del aspecto económico

El análisis de los costos de los materiales que inciden para la elaboración del shotcrete se realizó con referencia al mercado .

5.2.1. Costo Unitario de shotcrete con fibra sintética

Tabla 32: Análisis de costo unitario de shotcrete con fibra sintética

Material	unidad	Precio S/	Dosificación	Costo S/
Cemento Yura HE	Kg	0.550	425.00	233.75
Agua	Lt	0.050	193.00	9.65
Arena Molloco (100%)	m3	62.500	1.00	62.50
Neoplast 8500 (0.942%)	Lt	4.130	3.00	12.39
Euco Sureshot (9%)	Lt	11.830	26.94	318.70
Fibra Sintética Myphor	kg	15.840	4.00	63.36
		Total		700.35 S/m3

Fuente: Laboratorio de Empresa Robocon

5.2.2. Costo Unitario de shotcrete con fibra metálica

Tabla 33: Análisis de costo unitario de shotcrete con fibra metálica

Material	unidad	Precio S/	Dosificación	Costo S/
Cemento Yura HE	Kg	0.550	425.00	233.75
Agua	Lt	0.050	193.00	9.65
Arena Molloco (100%)	m3	62.500	1.00	62.50
Neoplast 8500 (0.942%)	Lt	4.130	3.00	12.39
Euco Sureshot (9%)	Lt	11.830	26.94	318.70
Fibra Metálica Maccaferri	kg	4.720	20.00	94.40
		Total		731.39 S/m3

Fuente: Laboratorio de Empresa Robocon

5.2.3. Diferencias de costos

El requerimiento total de shotcrete que se utilizara en el By Pass Nv 4540 es de:

5.2.3.1. Calculo de Volumen total de Shotcrete:

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

Donde:

V_t = Volumen total de Shotcrete (m³)

P = Perímetro real de sal sección (m)

L = Longitud total del By Pass Nv 4540 (m)

e = Espesor de shotcrete (m)

%Rg= Porcentaje de rugosidad según área geomecánica de U.P. Tambomayo

%Rb= Porcentaje de rebote según área geomecánica de U.P. Tambomayo

$$V_t = 13.48m * 230m * 0.0508m * 1.30 * 1.25$$

$$V_t = 255.94 m^3$$

Realizado el cálculo del volumen total de Shotcrete que se requiere para el sostenimiento del By Pass 4540, que es de 255.94 m³.

5.2.3.2. *El costo total del shotcrete para el By Pass Nv 4540*

Se procede hacer los cálculos del costo total del shotcrete con fibra sintética o metálica.

$$C_t = V_t * P_U$$

Donde:

C_t = Costo total del shotcrete (S/)

V_t = Volumen total de Shotcrete (m³)

P_U = Precio unitario de Shotcrete (S/m³)

“El costo de sostenimiento con shotcrete de diseño de mezcla con fibra sintética es en total”:

$$C_{t_{fibra\ sintetica}} = 255.94 m^3 * 700.35 S/m^3$$

$$C_{t_{fibra\ sintetica}} = S/ 179,247.58$$

“El costo de sostenimiento con shotcrete de diseño de mezcla con fibra metálica es en total”:

$$C_{t_{fibra\ metalica}} = 255.94 m^3 * 731.39 S/m^3$$

$$C_{t_{fibra\ metalica}} = S/ 187,191.96$$

La diferencia de costos está dada por:

$$\Delta Ct = Ct_{fibra\ metalica} - Ct_{fibra\ sintetica}$$

$$\Delta Ct = S/ 187,191.96 - S/ 179,247.58$$

$$\Delta Ct = S/ 7,944.38$$

La diferencia es de S/ 7944.38 en el costo de la producción del shotcrete, que genera un ahorro a la Empresa Robocon; que representa un 4.24% en la reducción de costos.

5.3. Análisis del aspecto de seguridad

Para el análisis de seguridad, “se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión a las probetas obtenidas en la labor”, estos sometidos a los 28 días de edad, obteniendo los resultados siguientes:

Tabla 34: Control de calidad y seguridad del shotcrete con fibra sintética

Fecha	Resistencia del hormigón fc	Edad días	Diámetro cm	Área cm2		Carga Máxima kg	Resistencia Kg/cm2	Promedio Kg/cm2	Promedio Mpa
11/01/2018	4.08	28	10.08	79.80		38140	478	484	47
			10.10	80.12		38190	477		
			10.08	79.80		39740	498		
12/01/2018	4.07	28	10.10	80.12		39530	493	500	49
			10.10	80.12		39820	497		
			10.10	80.12		40730	508		
13/01/2018	4.09	28	10.10	80.12		38760	484	488	48
			10.10	80.12		39290	490		
			10.09	79.96		39240	491		
14/01/2018	4.10	28	10.10	80.12		38033	475	479	47
			10.1	80.12		38486	480		
			10.09	79.96		38561	482		
15/01/2018	4.10	28	10.08	79.80		39408	494	500	49
			10.1	80.12		39460	493		
			10.1	80.12		41258	515		

Fuente: Propia

Tabla 35: Control de calidad y seguridad del shotcrete con fibra metálica

Fecha	Resistencia del hormigón fc	Edad días	Diámetro cm	Área cm ²	Carga Máxima kg	Resistencia Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio Mpa
26/01/2018	4.75	28	10.10	80.12	40131	501	501	49
			10.08	79.80	40020	501		
			10.1	80.12	40110	501		
27/01/2018	4.61	28	10.10	80.12	40230	502	503	49
			10.08	79.80	40180	503		
			10.08	79.80	40192	504		
28/01/2018	4.52	28	10.10	80.12	40080	500	500	49
			10.1	80.12	40032	500		
			10.08	79.80	40018	501		
29/01/2018	4.72	28	10.09	79.96	40190	503	502	49
			10.1	80.12	40120	501		
			10.1	80.12	40170	501		
30/01/2018	4.84	28	10.10	80.12	40032	500	500	49
			10.1	80.12	40025	500		
			10.1	80.12	40018	499		

Fuente: Propia

Realizado el análisis sobre los ensayos de calidad y seguridad al shotcrete a los 28 días de edad, se puede afirmar, que el shotcrete con fibra sintética alcanza una resistencia promedio de 48 Mpa y el shotcrete con fibra metálica alcanza una resistencia promedio de 49 Mpa, por lo que estos cumplen con la resistencia exigida por el área de Geomecánica de la U.P. Tambomayo para sus labores en desarrollo, por lo que se brinda la seguridad en estas.

CONCLUSIONES

- Se determinó los costos totales del shotcrete tanto como para fibra metálica y sintética, el cual hace una diferencia del 4.24% con respecto a la fibra sintética para el By Pass teniendo una longitud de 230ml en la U.P Tambomayo – Arequipa.
- Se determinó el diseño de mezcla del shotcrete con fibra metálica con 20 kg y otro con fibra sintética con 4 kg, para la evaluación de resistencia temprana a 4 horas de lanzamiento.
- Se realizó el control de resistencia temprana del shotcrete con fibra metálica obteniendo el resultado promedio de 4.69 Mpa y el shotcrete con fibra sintética de 4.09 Mpa.
- Se determinó el costo unitario del shotcrete con fibra metálica que es de S/ 731.39 y el shotcrete con fibra sintética de S/ 700.35.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar la fibra sintética en el shotcrete para el By Pass del que se tiene una reducción de costo del 4.24% para una longitud de 230ml en la U.P Tambomayo – Arequipa.
- Se recomienda la utilización de la fibra sintética con 4 kg por m³ de shotcrete.
- Se recomienda el uso de fibra sintética que tiene como resistencia temprana 4.09 Mpa, el cual alcanza el parámetro del área de Geomecánica de la U.P. Tambomayo de 4 Mpa a las 4 horas de edad.
- Se recomienda realizar las evaluaciones de resistencia temprana en el shotcrete utilizando como herramienta de evaluación la pistola Hilti.
- Se recomienda el uso de la fibra sintética para la elaboración del shotcrete el cual tiene como costo unitario de S/ 700.35 por m³.

BIBLIOGRAFÍA

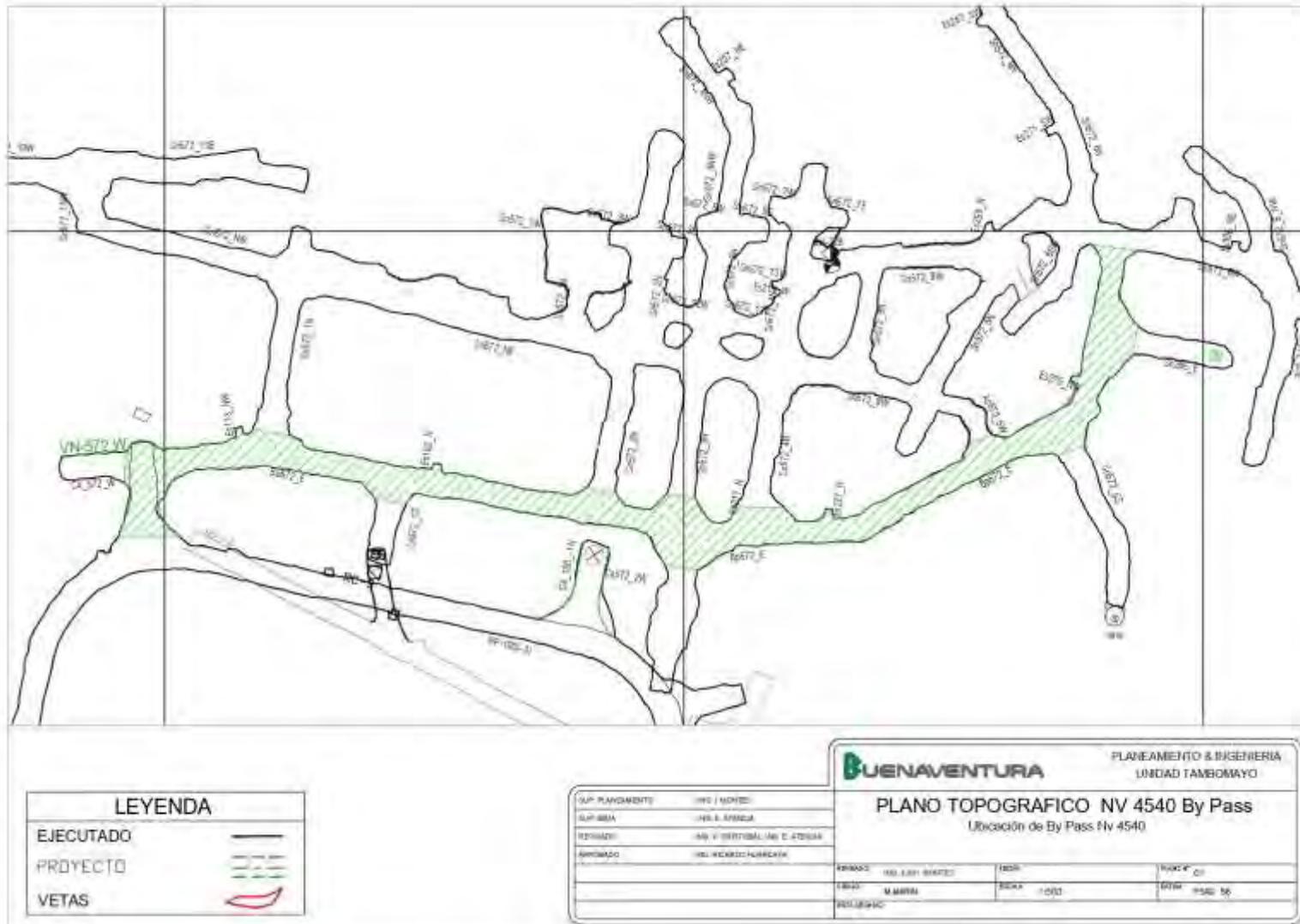
- ACI 506 R-05. (2005). *Guide to Shotcrete*.
- American Concrete Institute. (2005). *Guide to Shotcrete*. Detroit.
- Anabalón, I. (2017). *Shotcrete: Optimización de costos - Cuarto congreso Brasileño de tuneles y estructuras subterráneas*. Brasil: Normet.
- Area de Geomecánica U.P Tambomayo. (2016). *Estudio Geomecánico de la U.P. Tambomayo*. Arequipa: U.P. Tambomayo.
- ASTM C94. (2003). *Especificaciones normalizadas para el hormigón premezclado. Estados Unidos*.
- Bieniawski, Z. (1976). *Rock Mass Classification in Rock Engineering*. New York: WILEY Interscience publication.
- E. Gertsch, R., & L. Bullock, R. (1998). *Techniques in Underground Mining*. USA.
- Hernandez Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2016). *Metodología de la Investigación*. Mexico.
- Hilti. (2015). *Método para determinar la resistencia del hormigón proyectado*. Austria: Liechtenstein.
- Linares Pipón, C. (2018). *Determinación de resistencia temprana de hormigón proyectado: correlación entre método normado UNE-EN 14488-2 y método alternativa*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Sanchez Gomez, A., & Tapia Vallejos, L. (2019). *Generación de una curva de tendencia de la Pistola HILTI para el control de resistencias tempranas de shotcrete en minería subterránea*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

WEBGRAFÍA

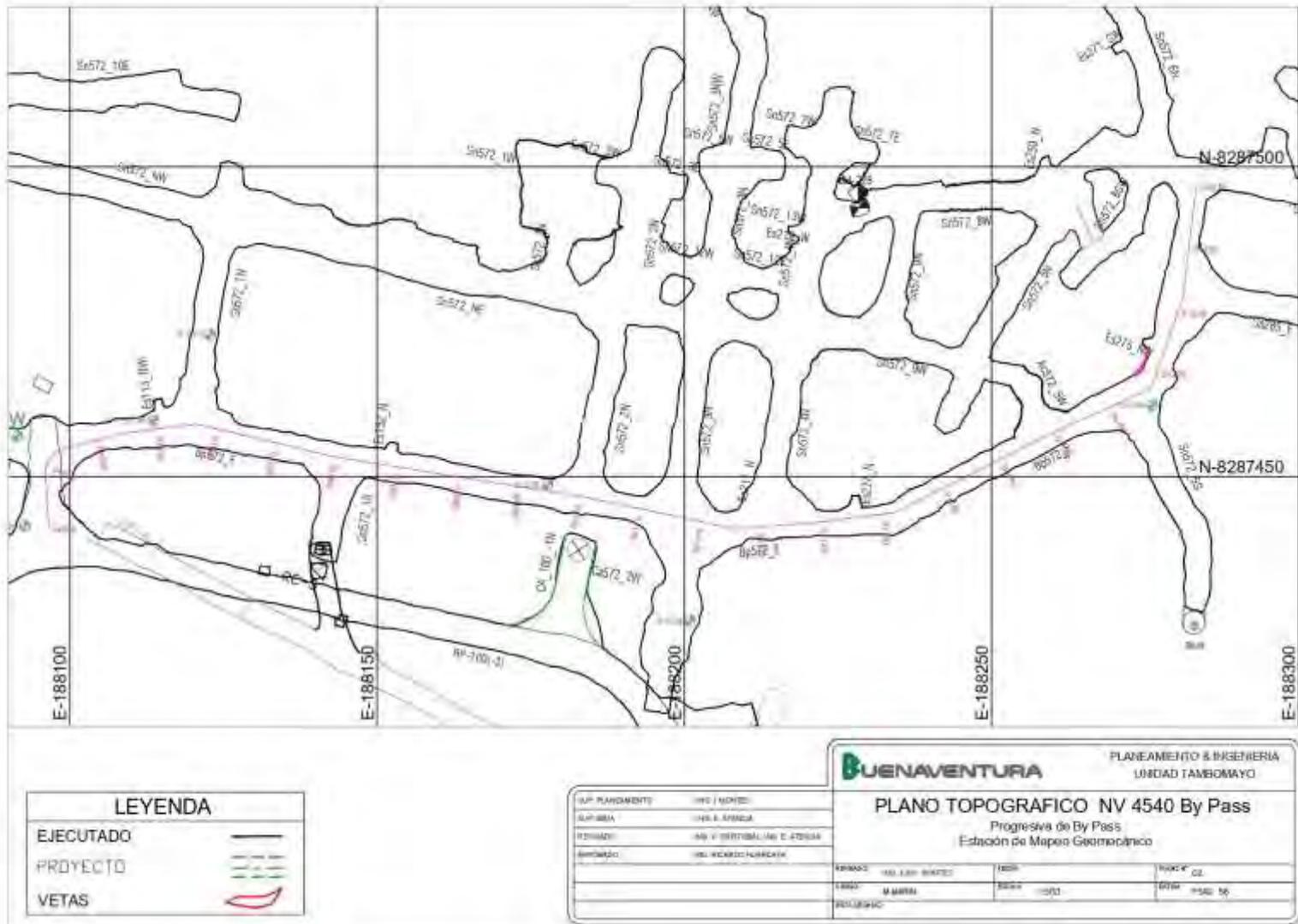
- CATERPILLAR. (s.f.). *CATERPILLAR*. Obtenido de https://www.cat.com/es_US/products/new/equipment/underground-hard-rock/underground-mining-load-haul-dump-lhd-loaders/18192466.html
- EPIROC. (s.f.). *EPIROC.COM*. Obtenido de <https://www.epiroc.com/es-pe/products/drill-rigs/production-drill-rigs/simba-e7>
- EXSA. (s.f.). *EXSA.NET*. Obtenido de <https://exsa.net/es/productos/examon-p>
- RESIMIN. (s.f.). *RESIMIN*. Obtenido de [https://www.finning.com/content/dam/finning/es/Documents/PDF/brochure_miner%C3%ADa/RAPTOR44-2R\(Espa%C3%B1ol\).pdf](https://www.finning.com/content/dam/finning/es/Documents/PDF/brochure_miner%C3%ADa/RAPTOR44-2R(Espa%C3%B1ol).pdf)
- U.M. Tambomayo. (s.f.). *U.M. Tambomayo*. Obtenido de <https://www.buenaventura.com/es/operaciones/detalle/1>
- VOLVO. (s.f.). *VOLVOTRUCKS.COM*. Obtenido de <https://www.volvotrucks.com.ar/es-ar/trucks/truck/volvo-fmx.html>

ANEXOS

ANEXO 1: PLANO DE UBICACIÓN DEL BY PASS



ANEXO 2: PLANO DE PROGRESIVAS Y ESTACIÓN GEOMECÁNICA



ANEXO 3: MATRIZ DE CONSISTENCIA

SELECCIÓN DE FIBRAS Y DISEÑO PARA SHOTCRETE EN LA CONSTRUCCIÓN DEL BY PASS DEL NIVEL 4540 EN LA U.P. TAMBOMAYO – AREQUIPA				
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Metodología
¿Cómo lograr la aplicación del shotcrete con fibra metálica o sintética en el sostenimiento del By Pass NV 4540, que implique menor costo que satisfaga las condiciones geomecánicas de la U.P. Tambomayo – Arequipa?	Determinar el costo unitario del shotcrete con la aplicación de la fibra apropiada que satisfaga las condiciones geomecánicas del By Pass del nivel 4540 en la U.P. Tambomayo – Arequipa	Con la selección apropiada del tipo de fibra metálica o sintética para el shotcrete como sostenimiento, se podrá lograr reducir los costos y satisfacer las condiciones geomecánicas del By Pass NV 4540 en la U.P. Tambomayo – Arequipa.	<u>Variable Independiente</u> Fibras D.1 Fibra metálica D.2 Fibra sintética <u>Variable Dependiente</u>	<u>Tipo de Estudio</u> Es un estudio de alcance descriptivo y aplicativo, ya que el propósito del presente proyecto de investigación la disminución del costo de aplicación de shotcrete. <u>Población</u> El universo está representado por la UP de Tambomayo La muestra: La muestra representativa estará constituida en el ByPass del Nivel 4540 de la U.P. de Tambomayo.
Problemas Especificos	Objetivos Especificos	Hipótesis Especificas		
¿Cuál es diseño de mezcla del shotcrete para las fibras metálica o sintética?	Determinar el diseño de mezcla en el shotcrete con fibra metálica o sintética.	Se logrará determinar el diseño de mezcla en el shotcrete con fibra metálica o sintética.	Shotcrete D.1 Diseño de mezcla de shotcrete D.2 Resistencia temprana D.3 Tipo de shotcrete	
¿Cuál son las resistencias tempranas del shotcrete con las fibras metálica o sintética?	Determinar las resistencias tempranas del shotcrete lanzado con fibra metálica o sintética.	Se logrará determinar las resistencias tempranas del shotcrete con fibra metálica o sintética con el uso de la Pistola Hilti.		
¿Cuál es el costo de la aplicación de shotcrete con fibra metálica o sintética?	Determinar el costo de aplicación de shotcrete con fibra metálica o sintética.	Se logrará determinar el costo de aplicación de shotcrete con fibra metálica o sintética.		