

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**“PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN EL SISTEMA DE
SOSTENIMIENTO MEDIANTE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA EN SECCIÓN
CUERPOS ZONA ALTA – COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA –
HUAROCHIRI – LIMA”**

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR: BACH. KLEIBER
HUMBERTO MUÑOZ BRAVO

ASESOR: ING. RUBÉN LLAMOCCA VIVANCO

CUSCO – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A Dios nuestro creador, por mantener unida a mi familia, por darme salud, fortaleza y sabiduría para alcanzar mis objetivos.

A mis queridos padres Ever y Trisia, por haberme dado la vida, su amor y cariño, es por ellos que trato de ser cada día mejor, para dar un buen ejemplo como hijo, como persona y como profesional.

A mi hermano Jodtan por haber estado ahí para hacer amena la elaboración de la tesis.

AGRADECIMIENTO

A la compañía minera Casapalca por haberme dado la oportunidad de crecer como profesional y como persona.

A la universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Alma Mater que me ha acogido durante todos los años de mi formación académica profesional, enseñándome aspectos de la vida que ninguna clase formal pudiera enseñar.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, que nos han impartido sus conocimientos, experiencias, y que estuvieron siempre dispuestos a aclarar mis dudas y responder mis preguntas.

A todos mis compañeros, con la cual he formado una gran amistad y fraternidad durante toda mi carrera, gracias por ser tan buenos amigos.

Y lo más importante, el agradecimiento más sincero y profundo va para mis padres, ya que sin su apoyo, inspiración y colaboración habría sido imposible lograr esta meta.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad poder analizar y diseñar la aplicación correcta de shotcrete (hormigón proyectado) vía húmeda como sostenimiento en las labores subterráneas en la Compañía Minera Casapalca. Con el fin de mejorar en todos los aspectos posibles la calidad del sostenimiento y efectuar la evaluación de precios unitarios de lanzado de shotcrete vía húmeda.

La minería depende del avance de las labores de exploración, preparación y desarrollo para la explotación de las vetas, cuerpos y mantos mineralizados presentes, por lo que es de mucha importancia mejorar el sostenimiento. La aplicación de shotcrete vía húmeda con equipo robotizado, nos permite incrementar la velocidad de sostenimiento de labores, con lo que se optimiza el ciclo de minado y esto genera mayor producción de mineral en la Compañía Minera Casapalca, repercutiendo así en todas las actividades afines.

El shotcrete vía húmeda mejorara en aspectos técnicos, económicos y condiciones de la labor para el trabajo a realizarse en dicha zona para lo cual se realizó un diseño de shotcrete con las condiciones requeridas por la empresa, una resistencia a la compresión mayor a 210 kg/cm² a los 28 días, el que está asociado al control constante de lanzado lo cual reducirá el riesgo a daños al personal o equipo que transite por la labor.

La tecnología de los equipos mecanizados empleados y la automatización de proyección de shotcrete vía húmeda garantiza la homogeneidad de la mezcla con un control exacto en la relación agua / concreto, el cual se lanzara con un flujo uniforme y con menores valores en la pérdida o las mermas del lanzado, con un rebote menor al 12%.

Para la mezcla planteada tendremos un ahorro notable, el cual se hace más evidente en el nivel de producción de la vía húmeda que ascenderá hasta 16 m³ en 4 viajes del MIXKRET4.

Se puede determinar que el shotcrete vía húmeda como método de sostenimiento resulta ser más eficiente tanto en tiempo como en producción, más versátil y dinámico por los equipos

empleados y de mayor resistencia a la requerida por el diseño de la mezcla que está compuesta por cemento andino I, arena de gradación 2, fibra metálica Dramix, aditivo acelerante SIGUNIT L50 y Aditivo superplastificante SikaCem.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis contiene la propuesta de sistema de sostenimiento mediante shotcrete vía húmeda en la sección cuerpos zona alta de la Compañía Minera Casapalca, mostrando los resultados de las bondades que este método conlleva consigo.

Siendo en tal sentido se considera:

En el capítulo I se desarrolla el planteamiento del estudio, enfocándonos en sí, el problema general y los problemas específicos; también, damos a conocer el objetivo general y objetivos específicos de la investigación, para demostrar que tiene la justificación y la importancia del estudio logrando especificar la hipótesis y sus variables e indicadores que se desarrolla.

En el capítulo II se presentan las Generalidades, donde se detalla la ubicación y accesibilidad de la mina, así como la geología local, regional y económica.

En el capítulo III se desarrolla el marco teórico, detallando los antecedentes y describiendo la geomecánica; adicionalmente se desarrolla las bases teóricas describiendo el sistema de sostenimiento mediante el cual se lograra los objetivos planteados para su correspondiente evaluación y aplicación, con sus respectivos componentes y características.

En el capítulo IV se desarrolla el análisis y la interpretación de datos del método empleado actualmente es decir el método vía seca, diseño de mezcla, procedimiento de lanzado, equipos empleados y diversos factores operativos y económicos del método en mención.

En el capítulo V se desarrolla el análisis y de datos del método propuesto es decir el método vía húmeda, diseño de mezcla, procedimiento de lanzado, equipos empleados y diversos factores operativos y económicos del método en mención.

En el capítulo VI se da a conocer el análisis del resultado obtenido en la cual se explica el diseño de la mezcla de shotcrete en la mina, comparación económica con el otro método

semejante; así como el resultado de los ensayos que se obtendrá según la evaluación para el actual y una proyección con el método a emplear.

Finalmente, se vierten las conclusiones y las recomendaciones con respecto a las afirmaciones en base de lo explicado y demostrado.

ÍNDICE

CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
INTRODUCCIÓN	V
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVI
CAPITULO I:	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	2
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.3. OBJETIVO GENERAL	2
1.2.4. OBJETIVO ESPECIFICO.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.2.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL	4
1.3.2.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	4
1.4. HIPÓTESIS	4
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	4
1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	4
1.5. VARIABLES E INDICADORES.....	5
1.6. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	5
1.6.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	6
1.6.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	6
1.7. MATRIZ DE CONSISTENCIA	7
CAPÍTULO II:.....	8
GENERALIDADES DE LA MINA	8
2.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	8

2.1.1.	UBICACIÓN.....	8
2.1.1.	ACCESIBILIDAD	9
2.2.	RESEÑA HISTÓRICA	10
2.3.	FISIOGRAFÍA Y CLIMA.....	11
2.4.	FLORA Y FAUNA	11
2.4.1.	FLORA.....	11
2.4.2.	FAUNA.....	11
2.5.	GEOLOGÍA	12
2.5.1.	GEOLOGÍA REGIONAL	12
2.5.1.1	FORMACIÓN CASAPALCA:	13
2.5.1.2.	FORMACIÓN CARLOS FRANCISCO:.....	13
2.5.1.3.	FORMACIÓN BELLAVISTA:	14
2.5.1.4.	FORMACIÓN RIO BLANCO:.....	14
2.5.2.	GEOLOGÍA LOCAL	14
2.5.3.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	16
2.5.3.1.	ANTICLINALES-SINCLINALES:	16
2.5.3.2.	FALLAS Y FRACTURAS:	17
2.5.4.	GEOLOGÍA ECONÓMICA.	17
2.5.4.1.	MINERALIZACIÓN	17
2.5.4.2.	VETAS	19
2.5.4.2.1.	VETA ESPERANZA-MARIANA-MERCEDES	19
2.5.4.2.2.	SISTEMA DE VETAS OROYA	19
2.5.4.2.3.	VETA DON REYNALDO	20
2.5.4.2.4.	VETA JUANITA.....	20
2.5.4.3.	CUERPOS	20
2.5.5.	RESERVAS	21
2.6.	MÉTODO DE EXPLOTACIÓN - SUBLEVEL STOPING	22
2.6.1.	PARÁMETROS DEL MÉTODO SLS EN CASAPALCA	24
2.7.	CICLO DE MINADO.....	24
2.7.1.	SUPERVISION	24
2.7.2.	DESATADO	24
2.7.3.	PREPARACIÓN	25
2.7.4.	PERFORACION	25
2.7.5.	VOLADURA	27
2.7.6.	VETILACION.....	29
2.7.7.	LIMPIEZA	29
2.7.8.	ACARREO O TRANSPORTE	30

2.7.9. SOSTENIMIENTO	30
CAPÍTULO III:	31
MARCO TEÓRICO	31
3.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	31
3.1.1. ANTECEDENTES NACIONALES.....	31
3.2. BASES TEÓRICAS	33
3.2.1. SOSTENIMIENTO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA	33
3.2.2. CLASES DE SOSTENIMIENTO	33
3.2.2.1. SOSTENIMIENTO ACTIVO (REFUERZO).....	33
3.2.2.2. SOSTENIMIENTO PASIVO (SOPORTE)	33
3.2.3. CONSIDERACIONES PARA EL SOSTENIMIENTO	33
3.2.3.1. GEOMECÁNICA APLICADA AL DISEÑO SUBTERRÁNEO	33
3.2.3.2. MECÁNICA DE ROCAS.....	34
3.2.3.3. ASPECTOS GEOMECÁNICOS DE CASAPALCA.....	35
3.2.3.4. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	36
3.2.3.4.1. CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI – ÍNDICE “RMR”	36
3.2.3.4.2. CLASIFICACIÓN DE BARTON – ÍNDICE “Q”	42
3.2.3.4.4. ÍNDICE G.S.I (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX).....	45
3.2.4. SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE	47
3.2.4.1. DISEÑO Y CAPACIDAD DE CARGA.....	48
3.2.4.1.1. CALCULO DEL ESPESOR DEL SHOTCRETE.....	48
3.2.4.1.2. CAPACIDAD DE CARGAS.....	49
3.2.4.2. REQUERIMIENTOS DEL SHOTCRETE	49
3.2.4.2.1. RESISTENCIA INICIAL	49
3.2.4.2.2. RESISTENCIA FINAL	50
3.2.4.2.3. DURABILIDAD E IMPERMEABILIDAD	51
3.2.4.3. SISTEMAS DE APLICACIÓN	51
3.2.4.3.1. SISTEMA MEZCLA SECA	51
3.2.4.3.1.1. DISEÑO DE LA MEZCLA PROYECTADA VÍA SECA	52
3.2.4.3.2. SISTEMA MEZCLA SEMI HÚMEDA	52
3.2.4.3.3. SISTEMA MEZCLA HÚMEDA.....	53
3.2.4.3.3.1. DISEÑO DE LA MEZCLA PROYECTADA VÍA HÚMEDO	53
3.2.4.4. MATERIALES EMPLEADOS.....	53
3.2.4.4.1. CEMENTO.....	54
3.2.4.4.2. MATERIALES FINOS COMPLEMENTARIOS	54
3.2.4.4.2.1. MICROSÍLICE.....	54
3.2.4.4.3. ÁRIDOS	55

3.2.4.4.4.	ADITIVOS QUÍMICOS.....	56
3.2.4.4.4.1.	GENERALIDADES.....	56
3.2.4.4.4.2.	REDUCTORES DE AGUA DE BAJO RANGO.....	56
3.2.4.4.4.3.	REDUCTORES DE AGUA (SUPERPLASTIFICANTES).....	56
3.2.4.4.4.4.	CONTROLADOR DE HIDRATACIÓN.....	57
3.2.4.4.4.5.	ACELERANTE.....	57
3.2.4.4.4.6.	OTROS ADITIVOS.....	59
3.2.4.4.5.	FIBRAS DE REFUERZO.....	59
3.2.4.5.	EQUIPOS DE LANZADO.....	60
3.2.4.5.1.	EQUIPO VÍA HÚMEDA.....	60
3.2.4.5.2.	EQUIPO VÍA SECA.....	60
3.2.4.6.	LANZADO DE SHOTCRETE.....	61
3.2.4.7.	REBOTE.....	63
3.2.4.8.	GENERACIÓN DE POLVO.....	65
3.2.4.9.	SOMBRAS EN EL LANZADO.....	66
CAPÍTULO IV.....		67
SITUACIÓN ACTUAL SHOTCRETE.....		67
4.1.	APLICACIÓN DE SHOTCRETE VÍA SECA.....	67
4.1.1.	PROCESO DE APLICACIÓN SISTEMA DE SHOTCRETE VÍA SECA.....	67
4.1.2.	SECUENCIA DEL LANZADO DE SHOTCRETE VÍA SECA.....	68
4.1.3.	PROPIEDADES DEL SHOTCRETE VÍA SECA.....	69
4.2.	CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL SHOTCRETE.....	70
4.2.1.	CONDICIONES GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO.....	70
4.2.2.	DISEÑO POR CONDICIONES DE RESISTENCIA.....	71
4.2.3.	DISEÑO POR CONDICIONES DE SERVICIO.....	72
4.2.4.	DISEÑO POR CONDICIONES DE DURABILIDAD.....	72
4.2.5.	DISEÑO POR OTROS REQUERIMIENTOS.....	72
4.3.	DISEÑO DE MEZCLAS PLANTEADO.....	73
4.4.	PREPARACIÓN DE MEZCLA.....	74
4.5.	FACTORES OPERATIVOS.....	75
4.5.1.	EQUIPOS PROYECTORES DE CONCRETO.....	75
➤	OCMER – 030 COMPATTA.....	75
➤	ALIVA 237.....	77
4.5.2.	PERSONAL.....	78
4.5.3.	CONDICIÓN DE LA LABOR.....	79
4.5.4.	RENDIMIENTO.....	79
4.5.4.1.	PRODUCCIÓN.....	79

4.6.	FACTORES ECONÓMICOS.....	82
4.6.1.	REBOTE.....	86
4.7.	FACTORES DE SEGURIDAD.....	87
4.8.	FACTORES AMBIENTALES.....	87
CAPÍTULO V.....		88
PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.....		88
5.1.	APLICACIÓN CON SHOTCRETE VÍA HÚMEDA.....	88
5.1.1.	PROCESO DE APLICACIÓN SISTEMA DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA.....	88
5.1.2.	FASES DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA.....	90
5.1.3.	PROPIEDADES DEL SHOTCRETE VÍA HÚMEDA.....	90
5.1.	DISEÑO DE MEZCLAS PLANTEADO.....	91
5.2.	PREPARACIÓN DE MEZCLA.....	93
5.3.	TRANSPORTE DE MEZCLA.....	95
5.4.	FACTORES OPERATIVOS PARA EL LANZADO DEL SHOTCRETE.....	96
5.4.1.	EQUIPOS PROYECTORES DE CONCRETO.....	96
5.4.2.	PERSONAL.....	97
5.4.3.	CONDICIÓN DE LA LABOR.....	97
5.4.4.	RENDIMIENTO.....	98
5.5.	FACTORES ECONÓMICOS.....	98
5.5.1.	PRECIO UNITARIO PROPUESTO.....	98
5.5.2.	REBOTE.....	101
5.6.	Factores de seguridad.....	101
5.7.	Factores ambientales.....	101
CAPÍTULO VI.....		102
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		102
6.1.	DISEÑO DE MEZCLA.....	102
6.2.	LANZADO DE SHOTCRETE.....	103
6.3.	REQUERIMIENTOS DE LA CAPA DE SHOTCRETE.....	105
6.3.1.	REQUERIMIENTOS MECÁNICOS.....	105
6.3.2.	REQUERIMIENTOS FÍSICOS.....	105
6.3.3.	REQUERIMIENTOS HIDRÁULICOS.....	105
6.3.4.	REQUERIMIENTOS QUÍMICOS.....	105
6.4.	CALIDAD.....	106
6.5.	EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	108
6.6.	AMBIENTE DE TRABAJO.....	112
6.7.	SOSTENIMIENTO ADICIONAL AL SHOTCRETE.....	113
6.8.	SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL.....	113

6.9. OPERATIVAS	115
CONCLUSIONES	116
RECOMENDACIONES.....	117
BIBLIOGRAFÍA	118
ANEXOS.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización De Variables	5
Tabla 2: Accesibilidad a compañía minera Casapalca S. A.....	10
Tabla 3: Características de un Yacimiento Epitermal de Baja Sulfuración	18
Tabla 4: Dimensiones y Leyes Casapalca	21
Tabla 5: Parámetros de Voladura.....	28
Tabla 6: Ventiladores axiales en Cuerpos	29
Tabla 7: Clasificación RMR según denominación de roca.....	35
Tabla 8: Calidad de Roca de acuerdo al RQD.....	39
Tabla 9: Parámetros de Clasificación Geomecánica	40
Tabla 10: Corrección por orientación de las discontinuidades	41
Tabla 11: Índice RMR: Clasificación geomecánica de Bieniawski y características.....	42
Tabla 12: Clasificación de Roca Adoptada	45
Tabla 13: Composición E Información De Ingredientes	54
Tabla 14: Estándar de mallas según ASTM	55
Tabla 15: Porcentaje de rechazo típico para diferentes superficies vía seca	64
Tabla 16: Porcentaje de rechazo típico para diferentes superficies vía húmeda	64
Tabla 17: Clasificación de Roca Adoptada Para el Análisis Geomecanico	70
Tabla 18: diseño de mezcla vía seca teórica.....	73
Tabla 19: pesos específicos materiales componentes de mezcla	74
Tabla 20: volumen de los materiales componentes de la mezcla	74
Tabla 21: materiales de la mezcla en el terreno	75
Tabla 22: Especificaciones De Ocmer – 030	76
Tabla 23: Especificaciones Técnicas Aliva - 237.....	78
Tabla 24: Reporte De Operaciones Lanzado De Shotcrete Octubre.....	80
Tabla 25: reporte de operaciones lanzado de shotcrete mensual	82
Tabla 26: Precio Unitario Shotcrete vía seca 2”.....	83
Tabla 27: Precio Unitario Shotcrete vía seca 3”.....	84
Tabla 28: Ensayo De Rebote.....	86
Tabla 29: Diseño De Mezcla Vía Húmeda Teórica.....	91
Tabla 30: Pesos Específicos Materiales Componentes De Mezcla.....	92
Tabla 31: Volumen De Los Materiales Componentes De La Mezcla	92

Tabla 32: Características Planta Dosificadora De Concreto Premezclado CIFAMOOVE 30	94
Tabla 33: Especificaciones Técnicas De SPM 4210 WETKRET.....	96
Tabla 34: Productividad De Lanzado De Shotcrete Tentativa.....	98
Tabla 35: Precio Unitario Shotcrete Vía Húmeda M3.....	99
Tabla 36: rebote usando vía húmeda en mina san Cristóbal.....	101
Tabla 37: Diseño comparativo de mezcla Shotcrete.....	102
Tabla 38: Cuadro Comparativo de lanzado de shotcrete	103
Tabla 39: Producción Promedio De Lanzado De Shotcrete	104
Tabla 40: Rendimiento Y Pérdidas Operativas Por Metro Cubico.....	104
Tabla 41: Resistencias Al Día, 3 Días, 7 Días Y 28 Días Del Shotcrete Vía Seca	106
Tabla 42: Resistencias Los 3 Días, 7 Días Y 28 Días Del Shotcrete Vía Húmeda	107
Tabla 43: Resistencias A La Compresión Axial Para Ambos Métodos.....	107
Tabla 44: Costo De Personal Por Metro Cubico Vía Seca	108
Tabla 45: Costo De Personal Por Metro Cubico Vía Húmedo	108
Tabla 46: Cuadro Comparativo De Precios Para Un Metro Cubico De Shotcrete.....	109
Tabla 47: Costo De Equipos Por Metro Cubico.....	110
Tabla 48: Costo De Implementos Por Metro Cubico	111
Tabla 49: Resumen De Costos Por Metro Cubico.....	111
Tabla 50: Costos Y Beneficios Por Método De Lanzado	112
Tabla 51: Incremento En El Beneficio Por M3 Y M2.....	112
Tabla 52 Sostenimiento empleado en Sección Cuerpos	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Mapa de Ubicación de Casapalca.....	9
Ilustración 2: Columna Estratigráfica Casapalca.....	15
Ilustración 3: Anticlinal de Casapalca.....	16
Ilustración 4: Etapas de Desarrollo Del Método De Explotación Sublevel Stoping	22
Ilustración 5: Perforación en abanico.....	27
Ilustración 6: Perforación Vertical	27
Ilustración 7: Sistema de clasificación de rocas de Barton.....	43
Ilustración 8: Tabla Geomecánica de RMR	46
Ilustración 9: Resistencia Inicial del Concreto lanzado.....	50
Ilustración 10: Resistencia Final del Concreto Lanzado	50
Ilustración 11: Durabilidad E Impermeabilidad del Concreto Lanzado	51
Ilustración 12: Manejo De La Boquilla Para Regularizar La Superficie Lanzada.	62
Ilustración 13: La influencia del ángulo de lanzado en el rebote.....	63
Ilustración 14: Secuencia de Aplicación Vía Seca.	69
Ilustración 15: Diseño De Sostenimiento Según Tabla G.S.I.....	71
Ilustración 16: Dimensiones De Maquina Lanzadora Ocmer – 030.....	76
Ilustración 17: Aliva - 237	77
Ilustración 18: Dimensiones De Maquina Lanzadora Aliva - 237.....	77
Ilustración 19: Especificaciones Eléctricas Aliva - 237	78
Ilustración 20: Sección De Labor Cia Minera Casapalca Sección Cuerpos.....	79
Ilustración 21: Secuencia de Aplicación Vía Húmeda.	89
Ilustración 22: Planta Dosificadora De Concreto Premezclado CIFAMOOVE 30	93
Ilustración 23: Dimensiones planta dosificadora de concreto premezclado CIFAMOOVE 30	94
Ilustración 24: Dimensiones De Mixer MIXKRET 4.....	95
Ilustración 25: Despacho De Mezcla	95
Ilustración 26: Dimensiones De SPM 4210 WETKRET.....	96
Ilustración 27: Diagramas De Alcance Del Brazo Proyector Y Área De Proyección.....	97
Ilustración 28: Porcentaje De Accidentes Mortales Según Ámbito De Trabajo Año 2018	114
Ilustración 29: Porcentaje De Accidentes Mortales Según Tipo De Accidente Año 2018	114
Ilustración 30: Víctimas Mortales por Titular Minero	114

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 01: PLANO GEOLÓGICO CIA. MINERA CASAPALCA

ANEXO N° 02: PLANO SECCIÓN LONGITUDINAL CUERPOS

ANEXO N° 03: ESTÁNDAR DE LANZADO POR SHOTCRETE VÍA SECA

ANEXO N° 04.: PERFIL DE LABOR 4 X 4.5 CON SHOTCRETE DE 3”

CAPITULO I:

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día en la minería moderna se necesita prevenir los accidentes por caída de rocas más aun en minería subterránea, en la cual durante los últimos años ha ocasionado numerosas pérdidas humanas.

La caída de rocas se presenta debido al tipo de terreno, cargas de esfuerzo sobre la roca, perforación y voladura de rocas, presencia de agua entre otras, por lo cual es necesario un método de sostenimiento adecuado, capaz de prevenir esta caída de rocas posterior a un análisis detallado del macizo rocoso en base a datos registrado en interior mina.

En minería subterránea, la elección más adecuada de los métodos de sostenimiento se enfoca en características de la evaluación geomecánica global del macizo rocoso y mediante la caracterización de la calidad de este, se debe tener en cuenta el requerimiento de sostenimiento seleccionando entre soporte y refuerzo (pasivo y activo), para así mantener la estabilidad de las labores mineras para poder garantizar su operatividad.

La aplicación de sostenimiento busca prevenir accidentes por caída de rocas; así mismo, usar la técnica de sostenimiento de shotcrete vía húmeda considerando el tipo de macizo rocoso, y su caracterización geomecánica, utilizando fórmulas matemáticas ya elaboradas con el fin de determinar el empleo del método de sostenimiento en mención, teniendo este método una serie de bondades técnicas y económicas, así como las condiciones del ambiente de trabajo para el personal que labora en la zona de trabajo.

1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Según lo citado, el problema principal y los problemas específicos son:

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Qué beneficios tendrá la implementación de shotcrete vía húmeda como método de sostenimiento en sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

- ¿Cómo es el proceso de mezcla del shotcrete vía húmeda como método de sostenimiento en labores mineras en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca?
- ¿Cuáles serán las ventajas comparativas con respecto al actual método de sostenimiento aplicado en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.3. OBJETIVO GENERAL

- Determinar los aspectos favorables del shotcrete vía húmeda como método de sostenimiento en labores mineras en la sección cuerpos zona alta -compañía minera Casapalca.

1.2.4. OBJETIVO ESPECIFICO

- Describir el proceso de mezcla de shotcrete vía húmeda como método de sostenimiento en labores mineras en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca.
- Determinar el desempeño y eficiencia del shotcrete vía húmeda como método de sostenimiento frente al actual método de sostenimiento en labores mineras en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca.

1.3.JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente tesis se justifica en la parte práctica, debido a que actualmente se cuenta con diversos métodos de sostenimiento en el mercado las cuales actúan en pos de prevenir la caída de rocas para evitar pérdidas humanas, por lo cual se dispuso a seleccionar un método de sostenimiento adecuado para las labores mineras, el shotcrete vía húmeda, teniendo en cuenta las mejoras que esta conllevaría como son la eficiencia durante el lanzado , rendimiento en el empleo de los materiales constituyentes del shotcrete y el uso de los equipos, control de calidad de lanzado de shotcrete, así como un impacto directo en el aspecto económico con la minimización de pérdidas producidas por el rebote del material y la flexibilidad logística que representa por ser los equipos altamente independientes durante la ejecución, así mismo cumpliendo los parámetros estipulados por la empresa.

La presente investigación servirá de sustento para posteriores investigaciones de carácter similar ya sean descriptivas o aplicativas relacionadas al sostenimiento en interior mina.

1.3.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.2.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL

Se realizó el estudio para la implementación del método de sostenimiento por shotcrete vía húmeda a fines del año 2018 tomándose en consideración datos históricos de producción comprendidos entre el año 2015 y 2016, para labores concluidas empleando en esta los equipos OCMER-030 Y ALIVA-237.

1.3.2.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL

El análisis comprendió la producción de metros cúbicos lanzados en la sección cuerpos - zona alta, que comprende desde la superficie hasta el nivel 04 principalmente con lanzamientos esporádicos en niveles inferiores en compañía minera Casapalca, lanzados con el método de shotcrete vía seca con equipos OCMER-030 Y ALIVA-237.

1.4.HIPÓTESIS

1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

- El diseño del shotcrete vía húmeda permitirá una mejor aplicación, dinámica e uniforme como método de sostenimiento, altamente eficiente y de gran calidad para poder emplear en las labores mineras subterráneas de la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca.

1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

- El proceso de mezcla del shotcrete vía húmeda es dinámico, constante y exacto, a su vez resulta ser más homogénea durante el sostenimiento de las labores mineras subterráneas en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca.

- El shotcrete vía húmeda resulta ser el método más eficiente en comparación con el método actual de sostenimiento empleado en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca, con respecto al tiempo, ambiente de trabajo y condiciones técnicas y económicas.

1.5.VARIABLES E INDICADORES

Tabla 1: Operacionalización De Variables

	Variable	Dimensiones	Indicadores
Dependiente	Lanzamiento de Shotcrete vía húmeda	• Distancia de lanzamiento	• m
		• Volumen	• m^3 , espesor
		• Índice de rebote	• %
		• Tiempo de lanzamiento	• Hr/m
Independiente	Método de sostenimiento	• Seguridad	• Índice de accidentabilidad
	Calidad de la Roca	• Factor Geomecanico	• RMR
	Sección de la labor	• Área	• m^2
	Presencia de Agua	• Agua en la roca	• Lt

Fuente: Elaboración Propia

1.6.DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Conforme a la finalidad del presente trabajo y teniendo en cuenta la solución estimada del problema de investigación, El tipo de investigación es longitudinal aplicada y Evaluativa, cuya finalidad es mejorar el modelo de sostenimiento presente en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca, a través del tiempo.

1.6.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es descriptivo ya que el propósito del proyecto es especificar las propiedades y características del shotcrete vía húmeda en el sostenimiento de labores subterráneas en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca.

1.6.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

- **POBLACIÓN:** Lugares que presenten el uso de Shotcrete como medio de sostenimiento en la compañía minera Casapalca principalmente en la sección de cuerpos mineralizados debido al tamaño de la sección.
- **MUESTRA:** Labores donde se empleó shotcrete como método de sostenimiento en sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca, dicha zona comprende los niveles superiores al nivel Nv. 4.

1.7 MATRIZ DE CONSISTENCIA

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	VARIABLES	INDICADORES
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Dependiente	
¿Qué beneficios tendrá la implementación de shotcrete vía húmeda como método de sostenimiento en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca?	Determinar los aspectos favorables del shotcrete vía húmeda como método de sostenimiento en labores mineras en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca.	El diseño del shotcrete vía húmeda permitirá una mejor aplicación, dinámica e uniforme como método de sostenimiento, altamente eficiente y de gran calidad para poder emplear en las labores mineras subterráneas de la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca.	<ul style="list-style-type: none"> • Lanzamiento de Shotcrete vía húmeda 	<ul style="list-style-type: none"> • m • m^3, espesor • % • Hr/m
Problema específico	Objetivo específico	Hipótesis específica	Independiente	
¿Cuál es el proceso de mezcla del shotcrete vía húmeda como método de sostenimiento en labores mineras en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca?	Describir el proceso de mezcla de shotcrete vía húmeda como método de sostenimiento en labores mineras en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca.	El proceso de mezcla del shotcrete vía húmeda determina el sostenimiento de las labores mineras subterráneas en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca.	<ul style="list-style-type: none"> • Método de sostenimiento • Calidad de la Roca • Sección de la labor • Presencia de Agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de accidentabilidad • RMR • m^2 • Lt
¿Cuáles serán las ventajas comparativas con respecto a otros métodos de sostenimiento aplicados en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca?	Determinar el desempeño y eficiencia del shotcrete vía húmeda como método de sostenimiento frente a otros métodos de sostenimiento en labores mineras en la sección cuerpos zona alta - compañía minera Casapalca.	El shotcrete vía húmeda resulta ser el método más eficiente frente a otros métodos de sostenimiento con respecto al tiempo, ambiente de trabajo y condiciones técnicas y económicas.		

CAPÍTULO II:

GENERALIDADES DE LA MINA

2.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

2.1.1. UBICACIÓN

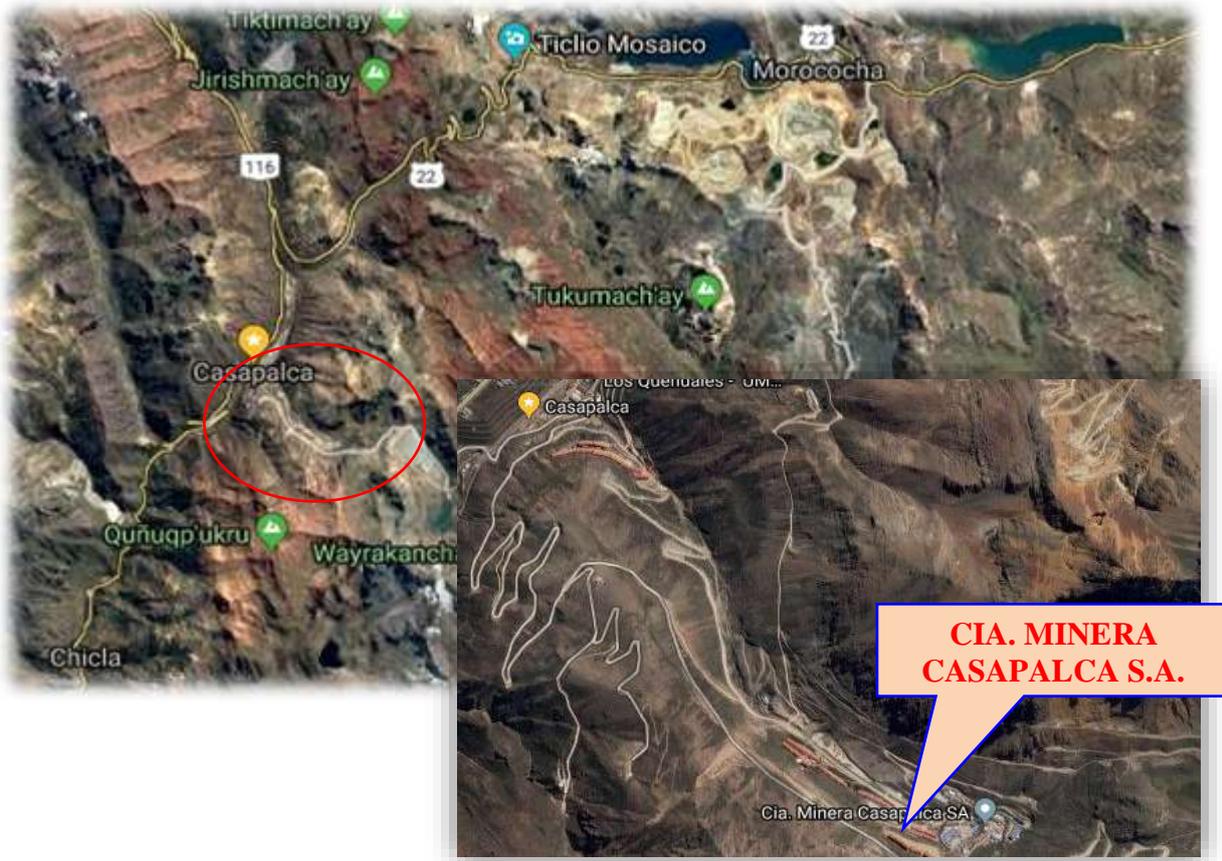
El área de localización de la Unidad Económica Administrativa de la Compañía Minera Casapalca S.A., se encuentra en 3 Microcuencas: Microcuenca de la quebrada Huari cancha que está limitada por los cerros Yanañau, Yurocshalla y Lauracocha, Microcuenca de la quebrada Magdalena limitada por los cerros Lauracocha, Putca, Chuquiccuco y Paracte y la Microcuenca de la quebrada Pumatarea limitada por los cerros Huari cancha, Lichicocha, Yanañac y Jabonnioc.

Comprendida en el distrito de Chicla, provincia de Huarochirí y departamento de Lima, en el mismo corazón de la sierra limeña, vecina de los distritos de Chicla, 3 de enero, San Mateo, san Antonio y Pomacocha.

El área se encuentra en la carta nacional en el cuadrángulo 24-k (Matucana), Geográficamente, se localiza en la franja central del flanco Oeste de la Cordillera Occidental de los andes, entre las coordenadas UTM (PSAD56):

- 8 712 000 N; 366 000 E - 8 704 000 N; 366 000 E
- 8 712 000 N; 374 000 E - 8 704 000 N; 374 000 E,

Ilustración 1: Mapa de Ubicación de Casapalca



Fuente: Google Maps

2.1.1. ACCESIBILIDAD

El acceso a la Unidad Económica Administrativa, se realiza desde la ciudad de Lima a través de la carretera central, siguiendo las localidades de: Lima – Chosica – Surco – Matucana – San Mateo – Chicla – Casapalca hasta el Km. 115 donde están situadas las instalaciones de la Empresa Minera Los Quenuales S.A., desde este punto existe una carretera afirmada de 8 Km., que va a lado de la cuenca de la quebrada El Carmen hacia el Sureste, y que conduce a las instalaciones de Compañía Minera Casapalca S.A.

El tiempo de viaje en estas vías es de 3 horas y 20 minutos, según se muestra a continuación en el siguiente cuadro:

Tabla 2: Accesibilidad a compañía minera Casapalca S. A

Origen – destino	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo (Hr)
Lima – desvío Casapalca	Asfaltada	115	3.00
Los Quenuales – campamento central Carmen	Afirmada	08	0.20

Fuente: Compañía Minera Casapalca S. A

2.2.RESEÑA HISTÓRICA

Minera Casapalca formó parte de la Empresa Backus y Johnston la cual fue constituida en 1889; años después, en 1919, fue adquirida por la compañía Cerro de Pasco Corporation, en ese entonces propiedad de capitales norteamericanos; luego, a raíz del proceso de nacionalización de esta empresa, pasa a formar parte de CENTROMIN PERÚ.

El 13 de octubre de 1986 se realiza la constitución legal de Compañía Minera Casapalca S.A., empezando sus actividades a inicios de 1987. En 1987 se hace con la propiedad de las concesiones de CENTROMIN PERÚ, además de pequeños yacimientos circundantes, lo cual marca la primera etapa para un desarrollo sostenido.

Con el pasar de los años la empresa obtuvo cambios sustanciales de un entorno convencional a uno mecanizado en 2004, así como un incremento de la producción de manera significativa en 2011 de 2700 a 5000 toneladas, además se cuenta con certificación internacional OHSAS 18001 e ISO 14001, actualmente se cuenta con una producción de 6000 toneladas diarias así como un crecimiento proyectado para los años venideros.

La filosofía de la Compañía Minera Casapalca S.A., desde sus inicios siempre ha sido la de tener un crecimiento sostenido, superando las adversidades y creyendo firmemente en las capacidades del ser humano como impulsor del desarrollo y de la empresa como generador de riqueza y al mismo tiempo como gestor del progreso del país.

2.3.FISIOGRAFÍA Y CLIMA

El área se encuentra dentro de un ambiente del tipo glaciar, con zonas de topografía abrupta y fuertes pendientes, con geo formas modeladas por antiguos glaciares, se encuentra comprendida a una altitud entre los 3780 y 5300 m.s.n.m.

Su clima es frío y seco, la temperatura promedio anual es entre 10° a 15° C, descendiendo por las noches a 4° C. Los meses de sequía son desde mayo a octubre, donde la altitud y sequedad genera un alto grado de evaporación presentando generando vientos de Oeste a Este; las lluvias se dan entre los meses de noviembre a abril donde las precipitaciones llegan hasta 700 mm, adicionalmente con nieve con una temperatura que entre 10 °C — 0 °C. Y los períodos de helada los meses de mayo, junio y julio.

2.4.FLORA Y FAUNA

2.4.1. FLORA

La flora en la zona esta construida principalmente por ichus y las poaceas de porte bajo y alto en la mayor parte evaluada. Se tiene pequeños matorrales compuestos por Huamanpinta (*Chuquiraga spinosa*) y tola (*Baccharis sp.* y *Parastrephia sp.*) alrededor de algunas lagunas, también predominan los bofedales presentando como planta característica a *Distichia muscoides* (*Juncaceae*), dándole el paisaje de la tundra alpina una superficie ondulada, en la zona se encuentran especies protegidas como La Huamanpinta y la Yareta como Vulnerables.

2.4.2. FAUNA

La fauna más representativa en la zona de evaluación estuvo comprendida por las aves acuáticas y terrestres. Se observó la presencia de 12 especies de aves acuáticas distribuidas en 5 órdenes, y 7 familias. La gaviota andina y los Chorlos nevados fueron las especies más frecuentes. Las especies protegidas por la legislación Nacional, y que se encuentran cercanos al área de influencia del proyecto, son: Zambullidor Plateado, El Cóndor y la Vicuña.

2.5.GEOLOGÍA

2.5.1.GEOLOGÍA REGIONAL

La Compañía Minera Casapalca S.A. geológicamente se encuentra sobre depósitos cuaternarios, estos están suprayaciendo a rocas sedimentarias e intrusivas del Cretáceo Superior y Terciario Inferior. La estructura de más prominente es el anticlinal de Casapalca que se encuentra en la parte central de la mina, siendo este un pliegue con 80 grados de inclinación del eje axial, que presenta plegamientos menores (anticlinales y sinclinales) en sus flancos NE y SW. En subsuelo se ha reconocido fallas pre-minerales que desplazan a las vetas, como la “Gran falla” que tiene rumbo N55°W.

Los plegamientos, estratigráficamente las unidades del distrito están plegadas, teniendo los ejes con rumbo de N20°W, lo que hace que sean casi paralelos al lineamiento general de la Cordillera de los Andes.

La estructura de mayor importancia es el anticlinorium Casapalca que presenta plegamientos (anticlinales y sinclinales) menores en sus flancos, 1 sinclinal americano posee estructuras volcánicas terciarias expuestas, su núcleo son las calizas Bellavista, se ubica bordeando el flanco noreste del anticlinorium Casapalca.

Se encuentra tres grandes fallas en la zona de Casapalca conservando cierto paralelismo entre sí, estas fallas son: Infiernillo con Rb. N38°W y Bz. 70°SW, Rosaura de Rb. N43°W y Bz. 80°SW (presenta mineralización), Americana con Rb. N38°W y Bz. 70°NE y Rio Blanco con Rb. N35°E ubicado en la zona SW. (ANEXO N° 01)

En subsuelo la gran falla de rumbo N35°W, desplaza a las vetas siendo dicho desplazamiento ligeramente mayor en profundidad.

La concesión de Casapalca presenta rocas volcánicas y sedimentarias entre el Cretáceo inferior y el Terciario en diferentes unidades litológicas.

2.5.1.1 FORMACIÓN CASAPALCA:

Es la formación de mayor antigüedad, este anticlinal es cortado por el río Rímac y está constituido por rocas sedimentarias. Está dividida en dos miembros los cuales son:

- **Mbo. Capas Rojas:** Presenta lutitas y areniscas calcáreas de grano fino a grueso con ligera estratificación, presentando el conjunto coloraciones rojizas debido a diseminados de hematita fina.
- **Mbo. Carmen:** sobre las capas rojas se presentan conglomerados y calizas intercaladas con arenisca en capas, lutitas, tufos y conglomerados volcánicos con una potencia de entre 80 y 200 m. Compuestos por rodados de cuarcita, guijarros, calizas en una matriz areno-arcillosa y cemento calcáreo intercalado.

2.5.1.2. FORMACIÓN CARLOS FRANCISCO:

Se encuentra sobre las rocas sedimentarias y se constituye en una potente serie de rocas volcánicas, y ha sido dividido en tres miembros los cuales son:

- **Mbo. Tablachaca:** Esta ubicada sobre el miembro Carmen y está conformada por una serie de rocas volcánicas (brechas, tufos, aglomerados y rocas porfíricas efusivas). En un entorno local se presentan conglomerados.
- **Mbo. Carlos Francisco:** Sobre el miembro Tablachaca se encuentran el volcánico Carlos Francisco constituido por flujos andesíticos masivos y fragmentados (brecha).
- **Mbo. Yauliyacu:** Los tufos Yauliyacu se ubican sobre el volcánico Carlos Francisco concordantemente, dicho miembro está conformado principalmente por tufos rojizos de grano fino.

2.5.1.3. FORMACIÓN BELLAVISTA:

Esta formación consiste de capas delgadas de calizas de color gris con algunas intercalaciones de calizas gris oscura con nódulos de sílice, tufos de grano fino y lutitas rojizas.

2.5.1.4. FORMACIÓN RIO BLANCO:

Sobre la formación Bellavista descansa una potente serie de volcánicos bien estratificados que consisten en tufos de lapilli de color rojizo con intercalaciones de brecha y riolitas. Algunas capas de calizas ocurren en la parte inferior de la formación.

2.5.2. GEOLOGÍA LOCAL

En Casapalca las más antiguas rocas avistadas son las areniscas, lutitas y conglomerados de la Formación Casapalca, la cual está formada en la base por el miembro capas rojas; constituida por una potente cadena de areniscas y lutitas de grano fino de color rojo, sobreyaciendo a estas se encuentra el miembro Carmen; constituida principalmente por una serie de areniscas, lutitas y conglomerados.

Sobre la Formación Casapalca se encuentra la Formación Carlos Francisco la que está dividida en tres miembros; en la base se encuentra el volcánico Tablachaca compuesto por aglomerados volcánicos, tufos y conglomerados con rodados de cuarcita, encima de este se encuentra las andesitas porfiríticas muy características por sus abundantes fenocristales de plagioclasas, y por último sobre esta se encuentran los tufos Yauliyacu, consistente en una serie intercalada de tufos y pórfidos andesíticos. Al Sur, formando parte de un sinclinal, se manifiestan afloramientos de calizas grises con intercalaciones de lutitas parecidas a la Formación Bellavista. Finalmente, en los fondos de los valles y en las laderas de los cerros se encuentran

material cuaternario de origen aluvial, fluvial (transportado por pequeños corrientes de agua de lluvia o hielo) y coluvial (caída por gravedad) (arrastrado por los ríos).

Ilustración 2: Columna Estratigráfica Casapalca

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	GROSOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN		
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Depósitos aluviales			Arenas, gravas y limos.		
		PLEISTOCENA	Depósitos glaciares			Morrenas		
	NEÓGENO	PLIOCENA	Grupo Jauja	Formación Mataula	50		Capas lacustrinas arenas y limos poco consolidadas.	
				Formación Ushno	100		Conglomerados fluviales.	
				Formación Ingahuasi	50		Tobas blancas calcáreas. Disc. eros.	
				Formación Yanacancha	250		Lavas, brechas, conglomerados andesíticos.	
	PALEÓGENO	MIOCENA		Formación Huarochiri	400		Tobas riolíticas y riolíticas con intercalaciones de areniscas.	
				Formación Millotingo	400		Lava andesítica a dacítica, areniscas volcánicas	
		OLIGOCENA		Formación Castrovirreyna	150		Volcánico - sedimentario con intercalaciones de tobas.	
			EOCENA	SUP.	Grupo Sacsaquero	2015		Tobas riolíticas soldadas, lavas y areniscas volcánicas
				MED.				
		PALEOCENA						Lutitas, areniscas, limolitas y conglomerados de color rojo. Dioritas.
MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR		Formación Casapalca	4000		Calizas pardo amarillentas con margas calcáreas, yeso.	
				Formación Celendín	400		Calizas compactas en estratos gruesos a delgados.	
		INFERIOR		Formación Pariatambo	120		Calizas, lutitas de color negro fétido.	
				Formación Chúlec	220		Calizas gris pardo amarillentas y margas calcáreas.	
				Formación Pariahuanca	260		Calizas y margas calcáreas.	
			Grupo Goyllasquizga	Formación Farrat	700		Areniscas de grano medio blanco a gris rojo.	
				Formación Carhuaz	450		Areniscas con intercalaciones de lutitas violáceas.	
				Formación Santa	100		Caliza gris y arcillitas abigarradas.	
	JURÁSICO	MEDIA		Formación Chaucha	300		Cuarzitas grises con intercalaciones de material bituminoso.	
				Formación Cercapuquio	322		Lodolitas y limolitas calcáreas, calizas y dolomitas. Areniscas de grano fino a grueso color blanco a gris.	
		INFERIOR	Grupo Pucará	Formación Condorsinga	1000		Calizas gris azulada con presencia de venillas de calcitas.	
				Formación Aramachay	400		Intercalaciones de caliza con nódulos calcáreos y limoarcillitas carbonosas.	
				Formación Chamberá	300		Calizas micríticas con nódulos de chert. Disc. ang.	
		TRIÁSICO	SUPERIOR					Secuencia rítmica molásica, conglomerados con clastos de volcánicos. Intrusivos y brechas volcánicas.
PALEOZOICA	PERMIANO	SUPERIOR	Grupo Mitu	1700		Areniscas, calizas y lutitas de color brunáceo.		
		INFERIOR	Grupo Copacabana	150		Lutitas y limolitas grises con intercalaciones de areniscas Monzogranitos, granitos.		
	CARBONÍFERO	SUPERIOR	Grupo Tarma	1300		Conglomerados, molasas rítmicas, areniscas feldespáticas.		
		INFERIOR	Grupo Ambo	900				
	DEVONIANO	SUPERIOR	Grupo Cabanillas	780		Secuencias tipo flysh con areniscas, lutitas y pizarras Disc. ang.		
		MEDIA						
	INFERIOR							
	SILURIANO ORDOVICIANO			Metasedimentitas no diferenciadas	700		Filitas con escasas intercalaciones de cuarcita, negro grisáceas, basaltos, metafofa y mármoles.	

Fuente: Departamento De Geología Cía. Casapalca

2.5.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Estructuralmente Casapalca pasó por una serie de movimientos tectónicos aprovechando zonas débiles antes conformadas que lo llevaron a un marco estructural andino tal como es hoy en día, gracias a la actividad magmática se permitió la colocación de intrusivos ácidos, causando la mineralización de la zona durante el Mioceno.

La sucesión de diversos esfuerzos durante el ciclo técnico andino, en el terciario y en el pleistoceno con énfasis en la zona de Morococha, San Cristóbal y Casapalca formo estructuras prominentes como fallas, fracturas y pliegues. Cabe mencionar que gracias a estas estructuras se pudo manifestar la presencia de intrusivos y mineralización en vetas.

2.5.3.1. ANTICLINALES-SINCLINALES:

Principalmente tendremos el sinclinal de Pumatarea-Aguascocha, con rumbo NW-SE y longitud de aproximadamente 9 km., seguida del anticlinal de Casapalca con 2 km. de longitud y el anticlinal de Antupuquio de 1 km. de longitud, estos últimos paralelos al sinclinal, y siendo la última estructura que rodea a las instalaciones de la minera lo cual se puede observar en la ilustración.

Ilustración 3: Anticlinal de Casapalca



Fuente: Compañía Minera Casapalca S. A

2.5.3.2. FALLAS Y FRACTURAS:

Las estructuras principales son las fallas perpendiculares al eje del sinclinal de mayor longitud, Pumatarea-Aguascocha, estas fallas tendrán un rumbo de Norte a Sur, conformándose con relleno de solución hidrotermal o de vía de circulación para esta solución.

Las fracturas y fallas son dominadas por las rocas encajonantes según su competencia, por ejemplo en caso el miembro Casapalca se encuentra fuertemente alterada y fracturada, en caso de no ser roca competente se tendrás fracturas menores como en el miembro Tablachaca, Rio Blanco y Bellavista.

2.5.4. GEOLOGÍA ECONÓMICA.

Casapalca presenta yacimiento polimetálico cordillerano principalmente con minerales de plata, cobre, zinc y plomo, que determina una mineralización demarcada vertical y horizontalmente según el zoneamiento, principalmente será vertical debido al carácter mesotermal de las vetas que llegan hasta la cota 3900 m.s.n.m.

En roca sedimentaria se desplazaron cuerpos irregulares durante la mineralización producto de la sustitución de calcitas por una solución hidrotermal.

En la zona de concesión se localizan una serie de afloramientos con presencia de fracturas simples con carbonatos y vetas anchas rellenas de sulfuros y cuarzo, con contenido de carbonatos, estas fracturas presentan paralelismo entre sí.

2.5.4.1. MINERALIZACIÓN

En Casapalca se encontrara principalmente vetas de plata con contenido de tetraedrita y freibergita, cobre con contenido de calcopirita y bornita siendo estos los más ricos, asociado a estos minerales tendremos cuarzo, rodonita, pirita, calcita y rodocrosita

Según Klaus Steinmuller, clasifica a Casapalca como un yacimiento del tipo: Vetas Epitermales de Baja sulfuración (Adularia-sericita) cuyas características se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3: Características del Yacimiento Epitermal de Baja Sulfuración (adularia o Sericita)

Descripción	Entorno volcánicos asociado a calderas.
Asociación a Rocas Volcánicas	Andesita, Riodacitas y Riolitas.
Accesorios durante la Alteración.	Adularia y Sericita Argílica, con menos frecuencia Clorita.
Sílice y Textura	Cuarzo o Calcedonia coloforme o Crustificada tipo cocadas.
Gangas	Generalmente materiales Manganíferos asociado a carbonatos, además de Fluorita y Barita.
Sulfuros	Pirita como relleno de fracturas (stockwork), Galena, Esfalerita Calcopirita, Tetrahedrita y Arsenopirita.
Principales Metales	Ag, Cu, Zn, Pb y en menos cuantía Au.
Accesorios	Sb, Mo, As y en menor cuantía Hg, Se, Te.
Temperatura	200 °C a 300 °C
Otras Propiedades	Ph casi neutro y una salinidad de 0 a 13 % de NaCl.
El yacimiento Epitermal obtendrá fluidos atmosféricamente, azufre de la lixiviación de rocas en la profundidad y plomo de rocas antiguas del precámbrico	

Fuente: Departamento De Geología Cía. Casapalca

También encontraremos cuerpos cuyo principal contenido será de Zinc conteniendo minerales como la Esfalerita y Marmatita con menor cantidad de Ag, Cu y Pb, estos se encuentran asociados a gangas como Cuarzo, Pirita y Calcita.

2.5.4.2. VETAS

Este tipo de mineralización altera toda la secuencia litológica desde las capas rojas Casapalca, los conglomerados Carmen y Tablachaca, el volcánico Carlos Francisco y las Calizas Bellavista. Son cuerpos tabulares con anchos de 0.50 m. a 2.50 m. con ensanchamientos locales; cuando cruzan los conglomerados forman cuerpos de relleno de intersticios de la brecha formando “cuerpos mineralizantes” de mayor ancho.

Casapalca cuenta con cuatro Vetas mayores acompañadas de estructuras menores pero de importancia mineral conformadas por splits y cimoides tipo brecha, manto o cuerpo de reemplazamiento.

2.5.4.2.1. VETA ESPERANZA-MARIANA-MERCEDES

Posee estos nombres según un determinado tramo cuya extensión aproximada es de 3 000 m en superficie. Tiene rumbo N40°E Y buzamiento al N de 75°-80° NO, está ubicada dentro de la Formación Casapalca, cuya mineralización se presenta en forma de venas irregulares, con potencias de 0.30 m. a 0.50 m. con relleno de tetraedrita, esfalerita y galena. Como ganga presenta venas de cuarzo y carbonatos mangániferos (rodocrosita y calcita). Presenta textura bandeada en su mineralización.

2.5.4.2.2. SISTEMA DE VETAS OROYA

Este sistema en superficie alcanza una extensión de 3.5 Km. de afloramientos discontinuos, con rumbo N 75 ° E a N 55° E es por ahora el más importante de la mina. La mayor extensión minera estructural está en la parte media y oeste, dentro de los volcánicos y pórfidos de la Formación Carlos Francisco. En la parte central han sido desarrolladas las vetas Oroya, Oroya Piso y Oroya Techo.

La veta Oroya ha sido trabajada y explotada desde el nivel 4820, trabajándose en la actualidad hasta el Nv. 16 (3 600 m.s.n.m. aprox.). La mineralización se presenta en

bandas de 0.4 m. a 1.5 m., dentro de estructuras de mayor ancho con ganga de carbonatos (rodocrosita) y cuarzo. Se caracteriza también por su textura en escarpela y presencia de brechas, con múltiples eventos mineralizantes, Con relleno de tetraedrita, esfalerita, galena y abundante pinta diseminada dentro del pórfido andesítico (cajas).

La veta Oroya Piso es la segunda veta en importancia por las reservas que contiene. Ha sido explotada desde el Nv. 4580 (donde se une a la veta Oroya), las características mineralógicas son similares a veta Oroya.

La veta Oroya I es la tercera en importancia de este sistema, se presenta hacia el Noreste de la veta Oroya. Ha sido explotada del Nv. 4670 a l Nv. 1 con mineralización en una longitud de 450 m.

2.5.4.2.3. VETA DON REYNALDO

Se ubica al lado Sur de veta Oroya. Actualmente se están desarrollando labores Exploratorias, poseyendo altas expectativas.

2.5.4.2.4. VETA JUANITA

Se encuentra en el extremo sur del distrito minero de Casapalca, a la actualidad se viene explorando y explotando a pequeña escala.

2.5.4.3. CUERPOS

Al noreste de las instalaciones de Casapalca se encuentran los cuerpos mineralizados con dos tipos de mineralización los cuales son:

- a) Mineralización de Galena y Tetraedritas asociados a carbonatos como relleno en fracturas en dirección a las vetas madre.
- b) Mineralización de Galena y Esfalerita en estratos horizontales en forma de reemplazamiento de areniscas calcáreas en los conglomerados.

Los principales cuerpos son: Mery, Anita, Emilia, Esperanza, Esperanza piso, Micaela, Sofía, Negrita, Vivian, Patty, Carmen, Escondida entre otras, algunos de los cuerpos mencionados y aquellos que continúan en muestreo se observan en el Anexo N° 02

2.5.5. RESERVAS

En minera Casapalca principalmente se puede determinar cuatro cuerpos estructurales que están posicionados entre los 2 000 m.s.n.m y 3 500 m.s.n.m puesto que estas afloran irregularmente con discontinuidades dándonos una extensión aproximada de 13 Km, tomando en cuenta un ancho de veta promedio de 1.1 m, una altura referencial de 2000 m, un peso específico de 2.9 y un castigo del 70% por motivos de seguridad, el margen de seguridad contemplara diversas irregularidades como partes estériles, Ore Shoot, etc. Por lo cual nos arrojará una total de 25 millones de toneladas métricas de recursos.

Al 31 de diciembre del año 2016 se tenía cerca de 5.0 millones de T.M.S menor en comparación a años anteriores, al 31 de diciembre del 2013 se tenía 5.6 millones de T.M.S, se observa una disminución de los recursos en años posteriores, en los últimos años gracias al área de geología de Cia Minera Casapalca se logró muestrear más áreas y al continuarse la profundización se obtuvo un incremento de las reservas llegando a 6.5 millones de T.M.S para el año 2019

Tabla 4: Dimensiones y Leyes Casapalca

CERTEZA	T.M.S	A.V.C	A. M.m	Ag Oz/Tc	Pb%	Cu%	Zn%	US \$ T.M.S
VETAS								
Probado	1052.390	1.07	1.26	5.97	1.52	0.24	2.05	53.1
Probable	668.880	1.25	1.44	5.69	1.51	0.23	2.13	52.2
SUB TOTAL	1721.270	1.14	1.33	5.86	1.52	0.23	2.08	52.75
CUERPOS								
Probado	1945.131	16.75	16.85	1.33	0.29	0.33	3.5	29.63
Probable	589.634	29.57	29.67	1.46	0.39	0.31	3.28	29.24
SUB TOTAL	2534.785	19.73	19.83	1.36	0.31	0.32	3.44	29.77
TOTAL								
Probado	2997.521	11.25	11.38	2.96	0.72	0.3	2.99	38.06
Probable	1258.514	14.52	14.67	3.71	0.99	0.27	2.67	41.44
TOTAL	4256.036	12.21	12.35	3.18	0.8	0.29	2.89	39.06

Fuente: Área de Geología Cia Minera Casapalca

Las reservas son representadas principalmente por los cuerpos mineralizados de gran volumen y todo el sistema de vetas cubiertos en la zona oroya y esperanza principalmente.

Adicionalmente se contemplan otras estructuras de menor dimensión que conforman Splits, caso Veta Escondida, también se identificaron cuerpos de reemplazamiento mineral y algunas estructuras que aun siguen en exploración como son algunos mantos.

2.6. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN - SUBLEVEL STOPING

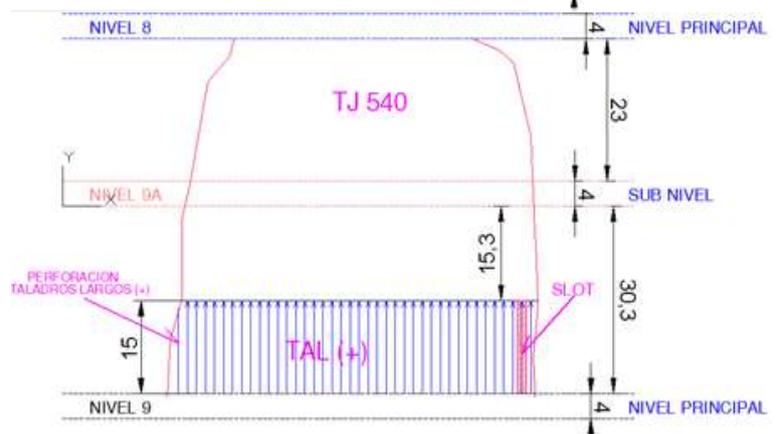
Sublevel Stopping se caracteriza por su producción ya que los albores son preparados sobre mineral, el método en si consiste en dividir en sectores el cuerpo mineralizado y se arranca a partir de subniveles explotados en vertical mediante tiros radiales o paralelos quedando vacías las cámaras después de la explotación, en resumen es efectuar voladura a cielo abierto pero aplicada en el entorno subterráneo, para lo cual se establece un nivel de extracción de varios subniveles oscilando la longitud entre 80 y 100 metros.

Ilustración 4: Etapas de Desarrollo Del Método De Explotación Sublevel Stopping

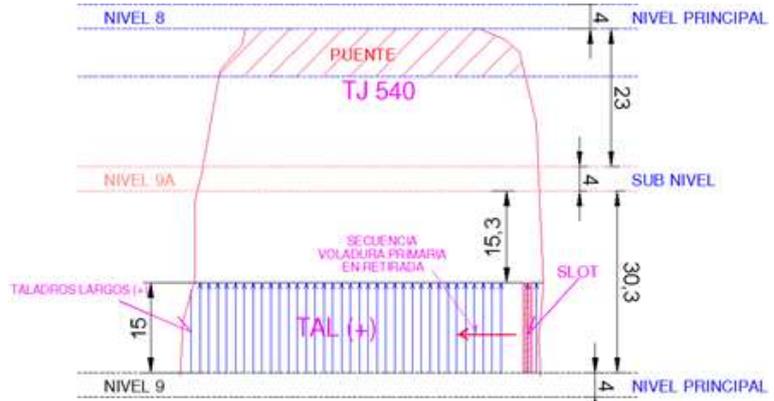
Etapa 1: Modelamiento



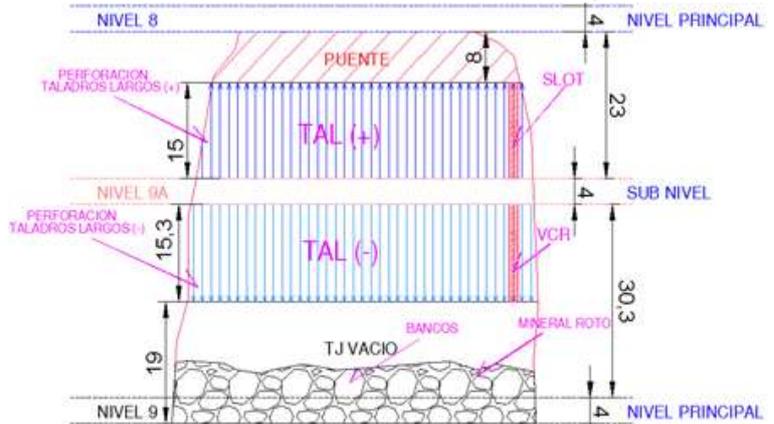
Etapa 2: Perforaciones Positivas Nivel Inferior



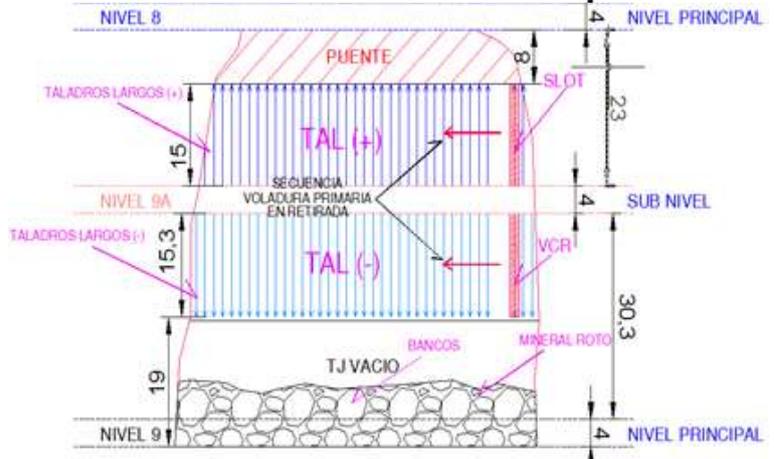
Etapa 3: Voladura Positiva Nivel Inferior



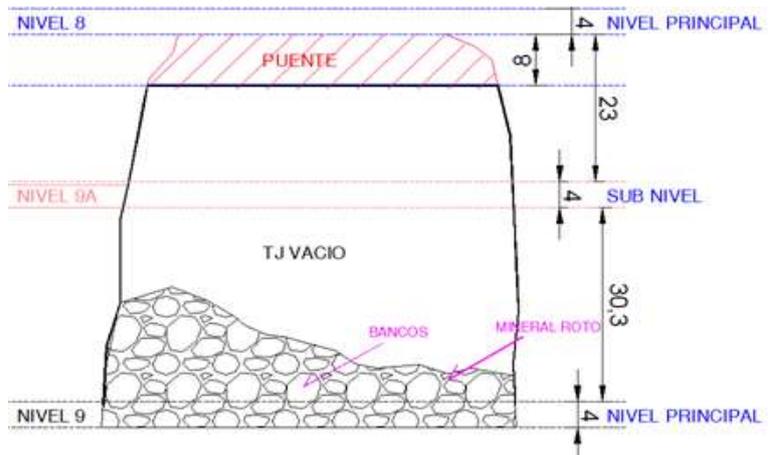
Etapa 4: Perforación Positiva Y Negativa Nivel Intermedio



Etapa 5: Voladura Positiva Y Negativa Nivel Intermedio



Etapa 6: Tajo Vacío



Fuente: Cia Minera Casapalca

2.6.1. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA SUBLEVEL STOPING

Se realizara la explotación en niveles de 50.0 metros con subniveles de 25.0 metros, con tajos de longitudes que oscilan entre los 6.0 y 120.0 m de largo y en ancho de 3.0 a 35.0 m, buzamientos de 45° - 85°; para compensar la extracción se emplea relleno detrítico, se estima una producción de hasta 150,000.0 T.M.C y 5,000.0 T.M.C para preparaciones y desarrollo.

2.7. CICLO DE MINADO

Esta definido por las operaciones unitarias que acontinuacion se muestran:

2.7.1. SUPERVISION

Se refiire principalmente a la inspeccion que se realiza posterior a la guardia pasada verificando que esta se realice con los parametros dentro de los estandares dispuestos por la empresa, principalmente las dimensiones y control de la dilucion.

2.7.2. DESATADO

Siguiendo un procedimiento de deastado de rocas se debe eliminar los peligros potenciales para los trabajadores durante la labor que desempeñan.

1. Verificar el acceso hacia el tajeo. Uso de los check list de desatado de rocas; La tarea se efectuará entre 2 personas como mínima.
2. Ventilar el área de trabajo, no ingresar hasta que se ventile.
3. Lavar los hastiales, techo y frente del tajo para verificar la existencia de tiros cortados, ésta tarea debe efectuarse de acuerdo al tipo de roca.
4. De ubicarse presencia de tiro cortado, seguir PETS de desactivación de tiros cortados.
5. La tarea de desatado debe efectuarse entre dos personas, teniendo piso firme y lugar seguro.

6. Realizar el desatado desde la entrada del tajo hacia el tope de labor (hastíales y techos) optando la posición firme con un pie delante del otro y separado, para mantener el equilibrio y con la Barretilla a un costado del cuerpo, formando un ángulo aproximado de 45 grados y no mayor de 70 grados con respecto a la horizontal.
7. Al realizar la prueba de estabilidad no tener puesto los tapones de oído, para escuchar el sonido característico de la roca suelta (sonido a cajón vacío). El desate debe realizarse ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DE CUALQUIER TRABAJO QUE SE EJECUTA.
8. Colocar sostenimiento adecuado según se avanza con el desatado.
9. Dejar ordenado la labor y las barretillas siempre deben estar a la mano.

2.7.3. PREPARACIÓN

Se realizara rampas y cortadas en caja piso como acceso al tajeo, paralela al cuerpo mineralizado, en material estéril se realizara la galería de extracción o by pass también en caja piso, el desarrollo se realizara median te Draw Points o estocadas que unen a la veta o cuerpo con la galería de extracción para poder recuperar el mineral; finalmente se establecen los subniveles para la perforación ubicada en la zona mineralizada para lo cual se ejecuta una chimenea slot como cara libre para una voladura adecuada.

2.7.4. PERFORACION

Con precisión y bastante control se deberá realizar la perforación del diseño de taladros largos para poder obtener una voladura óptima y eficiente en el minado por subniveles, ya sea en paralelo o en abanico.

Se emplean diámetros pequeños y longitudes grandes en los taladros generando desviación en los taladros pero dentro de los parámetros aceptables.

En Casapalca usamos como máquina perforadora la SIMBA H1254, cuyas capacidades permiten realizar taladros largos en labores de sección mediana a pequeña con diámetros de 51 a 89 mm, este equipo proporciona un área de cobertura considerable y tiene la facilidad de perforar taladros ascendentes o descendientes, lo cual facilita la perforación de barrenos largos debido a un martillo en cabeza.

- La perforación alcanza longitudes de hasta 20 metros hacia abajo o arriba en forma paralela o radial.
- La perforación inicia desde el nivel inferior o nivel base efectuándose taladros ascendentes (+), para niveles intermedios se realizara taladros descendentes (-).
- Según el plan de perforación mensual se estima un total de 35,000.0 metros perforados.

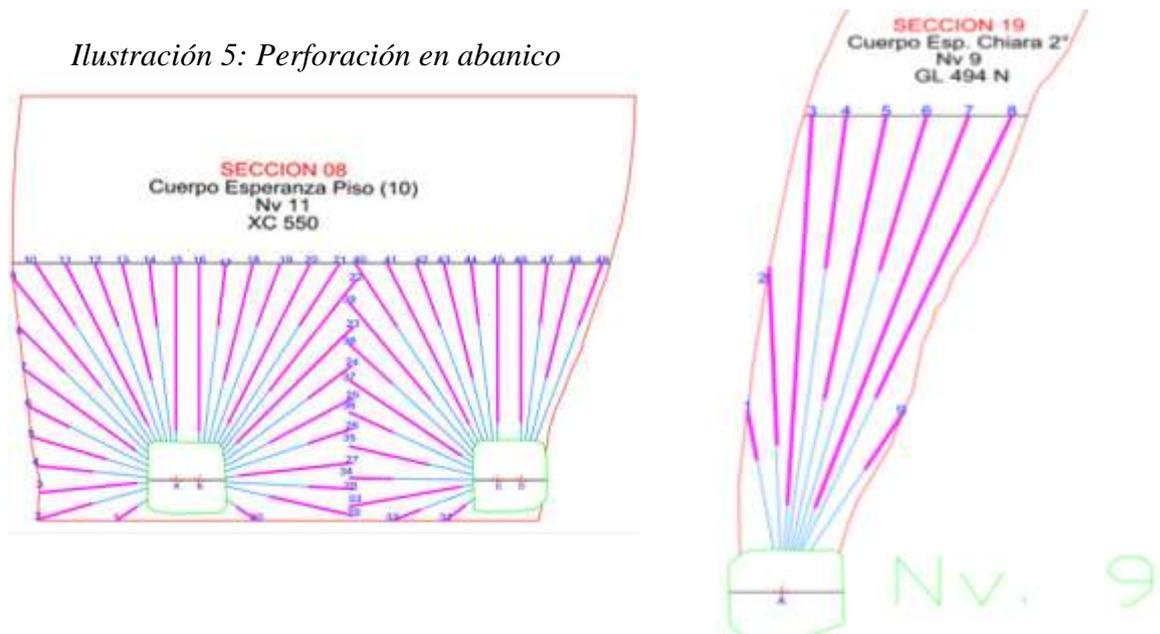
También se efectuara la perforación de labores adicionales para poder efectuar el método de manera eficiente estas son:

- **Chimenea slot (Cara Libre):** Posterior a la perforación de los taladros positivos se deberá ejecutar la perforación de la cara libre vertical, la cual se ejecuta de manera convencional con máquina perforadora Stoper.
- **Chimenea VCR (vertical crater raise):** posterior a la perforación de taladros negativos es necesario la perforación de una chimenea para la salida de la voladura primaria más conocida como VCR, esta chimenea tiene sección de 2 x 2 m con ejecución descendente.

Actualmente la Cia Minera Casapalca emplea equipos de perforación de dos clases, estos son:

- **Electro-hidráulicos:** Perforadoras eléctricas que perforan Radial y verticalmente, funcionan a 440 v o con sistema hidráulico; contamos con simbas 1254 y jumbos de un solo brazo que tienen una desviación cerca al 2%.
- **Neumáticos:** Realizan diseño radiales, emplean energía neumática y son de avance lento, usamos la perforadora BBS-120 con una desviación de cerca del 5%.

Ilustración 6: Perforación Vertical



Fuente: Cia Minera Casapalca

2.7.5. VOLADURA

Se realiza voladura de grandes dimensiones debido a los taladros largos, afectando directamente en la estabilidad del macizo rocoso y la seguridad, por lo cual se realiza la voladura de pocos taladros previamente planificados, para esta actividad empleamos explosivos como emulsión con cebo, ANFO y EXAMON y como accesorios de voladura empleamos pentacord, mechas lentas y faneles con retardos largos. El carguío se realiza generalmente casi en la totalidad del taladro para taladros paralelos, y en caso taladros en abanico será menor para no afectar las cajas u otros taladros.

Cuando se genera material que excede la granulometría estimada se deberá emplear la voladura secundaria para poder complementar la voladura realizada previamente, cuyo objetivo será reducir el tamaño de dicho material, esta representa un 28% de la voladura primaria.

Se efectúa voladura masiva en tajos de producción, por ello resulta ser considerable el ritmo de extracción y por ende la productividad.

Tabla 5: Parámetros de Voladura

Longitud detonador no eléctrico	18,0 m
Diámetros del cebo iniciador	1 ½ pulg
Factor de carga (+)	3,0 kg/m
Factor de carga (-)	2,60 kg/m
Factor de potencia (cuerpos)	0,55 kg/t
Factor de potencia (vetas)	0,85 kg/t
Densidad de columna carga	0,88 g/cm ³
Número de cebos/taladro	2,0 und.
Tipo de secuencia de salida	“V”
Tonelaje roto/día	6 000,00 T
Tonelaje roto/metro en paralelo	4,80 T
Tonelaje roto/metro en abanico	3,50 T

Fuente: Cia Minera Casapalca

- La voladura se efectuara respetando el programa de Producción planteado.
- El carguío se realizara con cargador de ANFO Jet Anol que permite incrementar la densidad del ANFO de 0,85 a 0,97 g/cm³ debido al confinamiento de 100 psi.
- Según el diseño de taladros estos medirán de entre 2.0 a 20.0 metros para su carguío.

Poseyendo los parámetros nombrados se procederá al voladura de los taladros, los cuales será positivos y negativos por lo cual se procederá de la siguiente manera:

- **Voladura de taladros negativos:** Se realiza a partir del VCR previamente realizado de sección 1.80 x 1.80 m, con factor de potencia de 3.80 kg/t y cuyo avance será de 2.0 en 2.0 metros, hasta conectar con el nivel superior, luego se procede a abrir zanjas para conectar con el cuerpo mineralizado y tener una cara libre más óptima.
- **Voladura de taladros positivos:** para los taladros positivos se realizara a partir de la chimenea Slot de sección 1.80 x 1.80 metros, con factor de potencia de 3.50 Kg/t, posteriormente se realizara la voladura progresiva del cuerpo mineralizado en función al programa de voladura y las leyes minerales del tajeo.

2.7.6. VETILACION

Para la constante ventilacion de la zona cuerpos y debido a la presencia de gases productos de la combustion de vehiculos que transitan en la zona se instalaron ventiladores axiales los cuales proveen condiciones aceptables de trabajo que se encuentran dentro de los estipulados por el reglamento.

Tabla 6: Ventiladores axiales en Cuerpos

Numero	Tipo	Cap. (cfm)	Nv	Ubicación	HP
008	Ventilador axial	10,000	10	XC 466	25
030	Ventilador axial	20,000	10	XC 664 N	45
038	Ventilador axial	30,000	8	VN 726	75
046	Ventilador axial	20,000	8A	CH 031	50
052	Ventilador axial	40,000	5	CH 001	100
053	Ventilador axial	10,000	1	PQ 650	30
064	Ventilador axial	30,000	10	GL 466	75
071	Ventilador axial	10,000	6A	GL 555	30
072	Ventilador axial	60,000	7	CH 580	150
073	Ventilador axial	40,000	4	CH 027	100
077	Ventilador axial	30,000	8	TJ 029	75
078	Ventilador axial	30,000	7	GI 650	75
079	Ventilador axial	30,000	8A	RAMPA (-) 686	75
081	Ventilador axial	10,000	4	GL 590 - CHIARA	25
082	Ventilador axial	20,000	5	PQ 650	50
083	Ventilador axial	5,000	7	PQ 650	15
085	Ventilador axial	5,000	300	XC 007	15
088	Ventilador axial	7,500	3A	CH S/N TRACKLES	20
091	Ventilador axial	10,000	10	GL 280	30
096	Ventilador axial	60,000	4	CH 875	150
097	Ventilador axial	60,000	4	CH 741	150
099	Ventilador axial	40,000	5	CH 695	100
100	Ventilador axial	150,000	600	RB	400
101	Ventilador axial	60,000	7	GL 593 N	150

Fuente: Cia Minera Casapalca

2.7.7. LIMPIEZA

El mineral roto será limpiado utilizando equipos como el Scoop R- 1600, de 6 Yd3 instalado a control remoto por seguridad, para lo cual se emplearan refugios construidos durante la etapa de preparación.

A distancias no mayores a los 150 metros se instalan chimeneas de acopio para evacuar el material roto, incrementando así la producción y acerando la limpieza de los tajeos, para esta actividad emplearemos los Scoop R-1600 de 6 yd3, los Scoops R-1300 de 4.1 yd3 y equipos menores obteniéndose un total de 85 T/Hr.

2.7.8. ACARREO O TRANSPORTE

Los Scoops trasladan el mineral hasta los echaderos de los diferentes niveles que se encuentran en la zona intermedio. El mineral de la Zona Alta es evacuado también con Scoop a los echaderos cercanos y con Dumpers a superficie para luego ser cargado a los volquetes. En la zona Baja el mineral es evacuado mediante los Dumpers MT 2010 hasta la zona intermedia NV 4B Echadero 806. Luego por el Nivel 4 donde se encuentran todas las tolvas. Y son cargados a los carros Grambys y es transportada con locomotora hasta superficie hacia las 3 tolvas que se tiene, para luego ser transportada hacia la planta concentradora o a los botaderos según sea el caso con volquetes de marca VOLVO FAMECA.

2.7.9. SOSTENIMIENTO

Debido a la seccion que se presenta en las labores el sostenimiento cuenta con una gama de posibilidades siendo estas los pernos elicoidales, mallas y split set para las labores en explotacion y para las labores permantes el uso de cimbras, shotcrete mallas y pernos helicoidales.

CAPÍTULO III:

MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

3.1.1. ANTECEDENTES NACIONALES

- I.** TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS
“EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DEL SHOTCRETE VÍA SECA COMO
MÉTODO DE SOSTENIMIENTO EN EL NV 6 XC 750 W EN LA UNIDAD
CUERPO MERY – COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA 2017”

UNIVERSIDAD CONTINENTAL - HUANCAYO

AUTOR: LUISIN ARMANDO LEÓN CÓNDOR

OBJETIVO GENERAL: Determinar la evaluación del resultado de la aplicación de Shotcrete vía seca como método de sostenimiento en el Nv. 6 – XC 750W en la Unidad Cuerpo Mery - Compañía Minera Casapalca 2017.

CONCLUSIÓN: El Resultado De La Evaluación De La Aplicación Del Shotcrete Vía Seca Como Método De Sostenimiento En El Nv. 6 – Xc 750 W En La Unidad Cuerpo Mery Se Basa En Minimizar El Craquelamiento De Los Hastiales, La Caja Techo Del Xc 750 W, Y Brindando Seguridad A Los Trabajadores De La Unidad Cuerpo Mery.

- II.** TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS
“APLICACIÓN DE CONCRETO LANZADO POR VÍA HÚMEDA EN EL
SOSTENIMIENTO DE LABORES DE DESARROLLO Y PROFUNDIZACIÓN EN
LA ZONA AURÍFERA DE PATAZ”

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

AUTOR: SERAFÍN VICENTE CONDORI ALCA

OBJETIVO GENERAL: Explicar la propuesta de cambio del método de aplicación de concreto lanzado de vía seca a vía húmeda como sostenimiento en las labores de desarrollo y las ventajas de este cambio.

CONCLUSIÓN: La Calidad Del Concreto Lanzado Por Vía Húmeda Cumple Con Las Exigencias Mecánicas Según Los Ensayos Realizados Tiene Una Resistencia A La Compresión Mayor A Los 400 Kg. / Cm². Y Una Factor De Absorción De 1500 Joules, Con La Adición De Fibra Metálica.

- III.** TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS
“DISEÑO Y APLICACIÓN DEL SHOTCRETE VÍA HÚMEDA COMO
ELEMENTO DE SOSTENIMIENTO EN LABORES MINERAS – INPECON SAC –
MINA CHIPMO CIA MINERA BUENAVENTURA UNIDAD ORCOPAMPA.”

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

AUTOR: TAPIA CHOQUEHUANCA, JUAN ALDO

OBJETIVO GENERAL: Diseñar y aplicar correctamente el shotcrete vía húmeda en la mina Chipmo, optimizar el sostenimiento logrando así beneficios económicos a la Cía. minera Buenaventura unidad Orcopampa.

CONCLUSIÓN: El Diseño De Shotcrete Propuesto Con 9 Bolsas De Cemento Permite Un Ahorro Para La Empresa Cia Buenaventura, Según Al Espesor De Lanzado De Shotcrete (2, 3, 4, Y 5 Pulgadas). Un Promedio De S/. 3.68 Por M²

3.2. BASES TEÓRICAS

3.2.1. SOSTENIMIENTO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA

El sostenimiento de labores mineras, está definido como el medio para contrarrestar el efecto de las presiones producidas o generadas por la abertura de una vía bajo tierra, que requiere de materiales, herramientas y elementos.

3.2.2. CLASES DE SOSTENIMIENTO

Actualmente en minería subterránea se emplean diversos tipos de sostenimiento para poder compensar la actividad en el macizo rocoso y poder seguir realizando los trabajos de exploración, desarrollo, preparación y explotación, para lo cual se utilizara sostenimiento pasivo o activo.

3.2.2.1. SOSTENIMIENTO ACTIVO (REFUERZO)

Viene a ser un refuerzo adicional al macizo rocoso donde el sostenimiento en si forma parte del macizo rocoso, principalmente contamos con pernos de anclaje, pernos helicoidales, Swellex, Split set y cables Bolting.

3.2.2.2. SOSTENIMIENTO PASIVO (SOPORTE)

Viene a ser aquel elemento de sostenimiento externo al macizo rocoso y que dependen del movimiento interno de dicho macizo, este estará en contacto con el perímetro excavado contamos con mallas electrosoldadas, cimbras, cuadros de madera y lanzamiento de shotcrete.

3.1.1. CONSIDERACIONES PARA EL SOSTENIMIENTO

3.1.1.1. GEOMECÁNICA APLICADA AL DISEÑO SUBTERRÁNEO

La geomecánica es la encargada de conceptualizar la vida económica junto con el beneficio económico respetando la seguridad según parámetros aceptables, lo cual repercute en la decisión del tipo de sostenimiento a emplear.

El comportamiento del macizo rocoso depende de la presencia de carbonatos (material arcilloso que procede de la etapa de formación de la roca), dichas arcillas proviene de una formación secundaria es decir una alteración hidrotermal; por lo cual estas ocasionaran un desgaste o deterioro prematuro de la calidad de la roca por ende del mineral, por otro lado la constante absorción de agua subterránea contribuye en la disminución de la resistencia de la roca y el incremento de las presiones sobre las paredes.

3.1.1.2. MECÁNICA DE ROCAS

Según (OYANGUREN, 2004) Mecánica de rocas es la ciencia teórica y aplicada que estudia el comportamiento mecánico de las rocas y de los macizos rocosos, sería pues la rama de la ingeniería dedicada al estudio de la respuesta de las rocas y macizos rocosos al campo de fuerzas que actúan en su entorno, la mecánica de rocas se encarga de realizar un estudio de la roca intacta al referirse como él (trozo, bloque, probeta), esta variara según sus características geológicas, estructurales, fallas, pliegues, diaclasas, etc.; lo cual se desarrolla y logra seleccionar según el macizo rocoso el tipo de sostenimiento ideal a emplear.

Según (HOEK, 1995) La aplicación de principios en la ingeniería de minas se basa se basa en premisas simples y tal vez evidentes, las cuales son:

- El primer postulado sería suponer que a cualquier macizo rocoso se le puede asignar un conjunto de propiedades mecánicas, que se pueden medir a través de ensayos estándar.
- El segundo principio sería aseverar que el proceso de excavación minera origina una estructura de roca superficial o subterránea formada por el macizo rocoso, huecos, elementos de sostenimiento y empotramientos, que se puede analizar a partir de los principios de la mecánica clásica.

- La tercera proposición es que la capacidad de predecir y controlar el comportamiento del macizo rocoso, en el que se realiza la operación minera, puede asegurar o incrementar la rentabilidad minera, lo que se ha de traducir en la práctica de la eficiencia, (máxima eficacia) de la explotación del recurso medida en términos de recuperación mineral de productividad o rentabilidad económica.

3.1.1.3. ASPECTOS GEOMECÁNICOS DE CASAPALCA

El aspecto geomecánico general en la Compañía Minera Casapalca se realiza de acuerdo a la clasificación geomecánica según el criterio de Bieniawski, el composito en su mayoría presenta un RMR que varía entre 25 – 75 presentando una roca muy fracturada y moderadamente fracturada.

La estructura del macizo rocoso comprende del conjunto de fallas, diaclasas, pliegues, y demás características geológicas propias de una determinada región. El que define esta clasificación se denomina RMR (Rock Mass Rating).

El RMR se obtiene como la suma de puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros que oscila de 0 a 100 y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca.

Tabla 7: Clasificación RMR según denominación de roca

Clase	Calidad	Valoración RMR
I	Muy buena	100 - 81
II	Buena	80 - 61
III	Media	60 - 41
IV	Mala	40 - 21
V	Muy mala	< 20

FUENTE: Bieniawski 1989

3.1.1.4. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

Existen varios sistemas de clasificación aplicadas a obras subterráneas, como por ejemplo: Terzaghi, Protodyakonov, Lauffer, Wicman, Bartón, Bieniawski, y otros; siendo de todo los más conocidos y utilizados en el campo de la tonelería los sistemas de Bartón (Índice “Q”) y Bieniawski (Índice RMR).

Estos sistemas semi cuantitativos, son las técnicas empíricas mejor conocidas para evaluar la estabilidad de las obras subterráneas y los elementos de sostenimiento necesarios.

La clasificación geomecánica se utiliza para la identificación y comparación de los macizos rocosos atravesados durante la excavación, procediendo a la obtención de su correspondiente índice de calidad. Este índice se obtiene a través de la observación de una serie de parámetros y dándole sus correspondientes observación. En definitiva se trata de cuantificar la calidad de los macizos rocosos atravesados, de forma que pueden ser comparados, zonas ubicadas en distintos puntos del túnel. Los datos deben de obtenerse en el mismo frente de excavación, siendo por tanto representativos del estado del macizo rocoso en el punto donde se sitúa la excavación.

3.1.1.4.1. CLASIFICACIÓN DE BIENIAWSKI – ÍNDICE “RMR”

El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Z. T. Bieniawski durante los años 1972 – 73, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979.

Según (BIENAWSKI, 1989) Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los seis parámetros del terreno siguientes:

- La resistencia a compresión simple del material.
- El RQD (Rock Quality Designation).
- El espaciamiento de las discontinuidades.

- El estado de las discontinuidades.
- La presencia de agua.
- La orientación de las discontinuidades.

El RMR se obtiene como resultado de unas puntuaciones que corresponden a valores de cada uno de los seis parámetros enumerados. El valor del RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor cuando mejor es la calidad de la roca. Bieniawski distingue cinco tipos o clase de roca según el valor de RMR:

- CLASE I : $RMR > 80$; Sera roca muy buena
- CLASE II : $80 < RMR < 60$ Sera roca buena
- CLASE III : $60 < RMR < 40$ Sera roca media
- CLASE IV : $40 < RMR < 20$ Sera roca mala
- CLASE V : $RMR < 20$ Sera roca muy mala

Se describen 10 parámetros seleccionados para definir sus características:

1. Orientación.- posición de la discontinuidad en el espacio definida por la dirección del buzamiento y el buzamiento de la línea máxima pendiente en el plano de la discontinuidad.
2. Espaciamiento.- distancia perpendicular entre dos discontinuidades adyacentes; normalmente se refiere al espaciamiento medio de una familia de discontinuidades.
3. Continuidad.- extensión superficial de una determinada discontinuidad en un plano inclinado que la contenga
4. Rugosidad.- conjunto de irregularidades de diferentes órdenes de magnitud (aspereza), que componen a superficie de las paredes de la discontinuidad.
5. Resistencia de la discontinuidad, resistencia a la compresión de la superficie de discontinuidad. Puede ser más baja que la resistencia de la roca matriz a causa de la meteorización.

6. Apertura.- distancia perpendicular entre las paredes de las discontinuidades.
7. Relleno.- material que reposa en las paredes de las discontinuidades, normalmente más débil que la roca matriz.
8. Filtraciones: flujo de agua y humedad visible en las discontinuidades de la totalidad de la roca.
9. Número de familias.- que comprende el sistema de discontinuidades del medio rocoso.
10. Tamaño del bloque.- dimensiones del bloque de roca resultante de la mutua orientación y espaciado de las familias de las discontinuidades.

Hay que hacer las siguientes consideraciones:

1. Resistencia de la roca.- Tiene una validación máxima de 15 puntos, y puede utilizarse como criterio el resultado del Ensayo de Resistencia a Compresión Simple o bien el Ensayo de Carga Puntual (Point Load).
2. Índice de calidad de la roca - RQD.- Tiene una valoración máxima de 20 puntos. Se denomina RQD de un cierto tramo de un sondeo a la relación en tanto por ciento entre la suma de las longitudes de los trozos de testigo mayores de 10 cm. y la longitud total del sondeo. Según (Deere, 1968) que desarrollaba su trabajo profesional en el ámbito de la mecánica de rocas, postula que la cantidad estructural de un macizo rocoso puede ser estimada a partir de la información dada por la recuperación de trozos intactos de sondajes efectuados con perforación diamantina, sobre esta base propone el índice cuantitativo RQD.

$$RQD = \frac{\Sigma \text{ longitud de los trozos de testigo } > 10\text{cm}}{\text{Longitud Total}} \times 100$$

Basándose en rangos de valores de RQD, el medio rocoso es caracterizado según su calidad de acuerdo al siguiente cuadro:

Tabla 8: Calidad de Roca de acuerdo al RQD

RQD (%)	Calidad de roca
90 – 100	Muy buena
75 - 90	Buena
50 - 75	Mediana
25 – 50	Mala
0 - 25	Muy mala

Fuente: Deere et. Al. RQD

La aplicación de este concepto de designación de calidad de roca, dada su simpleza, fue ampliamente aceptada y de gran divulgación hasta hoy.

Evidentemente la simplicidad del método involucra una serie de limitaciones puesto que no considera factores tan importantes como la orientación del sondaje en relación a los planos de debilidad, presencia de agua, relleno de fracturas, etc., los cuales sin lugar a duda tiene influencia en la correcta clasificación del terreno, se debe hacer presente que es recomendable determinar el RQD en base a testigos de diámetro igual o mayor a 50 mm.

3. Separación entre discontinuidades.- tiene una validación máxima de 20 puntos. El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas de la roca.
4. Estado de las discontinuidades.- es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 30 puntos. Pueden aplicarse los criterios generales, en la que el estado de las diaclasas se componen de otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de juntas.
5. Presencia de agua subterránea.-La valoración máxima es de 15 puntos, ofrece tres posibles criterios de valoración, estado general, caudal cada 10 metros de túnel, y relación entre presión del agua y la tensión principal mayor de la roca.
6. Orientación en las discontinuidades.- Este parámetro tiene una valoración negativa, y oscila para túneles entre cero y 12 puntos, en función del buzamiento de las diaclasas y

de su rumbo, en relación con el eje del túnel o rampa (paralelo o perpendicular), se establece una clasificación de la discontinuidad en cinco tipos desde Muy Favorable hasta Muy Desfavorable, según el tipo, se aplica la puntuación especificada en la tabla, de acuerdo a la valoración.

Tabla 9: Parámetros de Clasificación Geomecánica

Parámetro: Resistencia de la matriz rocosa (MPa)							
Ensayos de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	1<
Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
Parámetro: RQD							
RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
Puntuación	20	17	13	6	3		
Parámetro: Separación entre diaclasas							
Separación entre diaclasas	>2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	<0.06 m		
Puntuación	20	15	10	8	5		
Parámetro: estado de las discontinuidades							
Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Puntuación	6	4	2	1	0		
Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1-1 mm	1-5 mm	> 5 mm		
Puntuación	6	5	3	1	0		
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
Puntuación	6	5	3	1	0		
Relleno	Ninguno	Relleno duro <5 mm	Relleno duro >5 mm	Relleno blando <5 mm	Relleno blando >5 mm		
Puntuación	6	4	2	2	0		

Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Puntuación	6	5	3	1	0
Parámetro: agua subterránea o freática					
Caudal por 10 m del túnel	Nulo	10 litros/minuto	10-25 litros/minuto	25-125 litros/minuto	>125 litros/minuto
Relación: Presión de agua/tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
Estado general	Seco	Ligeramente seco	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
Puntuación	15	10	7	4	0

Fuente: Bieniawski 1989

Para realizar la clasificación RMR, primeramente se zonifica al macizo rocoso en tramos que tengan características geológicas similares o uniformes.

Se realiza la recolección de los datos y medidas correspondientes a la tabla de clasificación geomecánica referentes a las propiedades y caracterización del macizo rocoso (matriz rocosa y discontinuidades).

A continuación se obtienen las puntuaciones que resultan de la aplicación de los cinco parámetros de clasificación mostrados en la *tabla 09*, obteniéndose un valor numérico que sirve para clasificar el macizo rocoso.

Tabla 10: Corrección por orientación de las discontinuidades

Corrección por la orientación de las discontinuidades						
Dirección buzamiento y		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

Posteriormente a la aplicación de los cinco parámetros se realizaría la corrección por orientación de discontinuidades usando la *tabla 10*, obteniéndose una clasificación real.

El índice RMR distingue cinco clases que corresponden a la calidad de los macizos rocosos, relacionado características geotécnicas que se toman en cuenta para la aplicación de obras de ingeniería civil y minería, especialmente túneles o taludes.

Tabla 11: Índice RMR: Clasificación geomecánica de Bieniawski y características

Índice RMR: calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR				
Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100-81	> 4 kg/CM2	>45°
II	Buena	80-61	3-4 kg/CM2	35°-45°
III	Media	60-41	2-3 kg/CM2	25°-35°
IV	Mala	40-21	1-2 kg/CM2	15°-25°
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/CM2	< 15°

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

Es así que, un macizo rocoso Clase I será clasificado como Muy Bueno, es decir que es un macizo rocoso duro, poco fracturado, sin filtraciones representativas y leve o poco meteorizado, representa muy pocos problemas frente a su estabilidad y resistencia, por lo tanto, se deduce que tendrá una capacidad portante alta, permitirá la excavación de taludes con pendientes altas y no será necesario implementar medidas de estabilización y refuerzo en túneles.

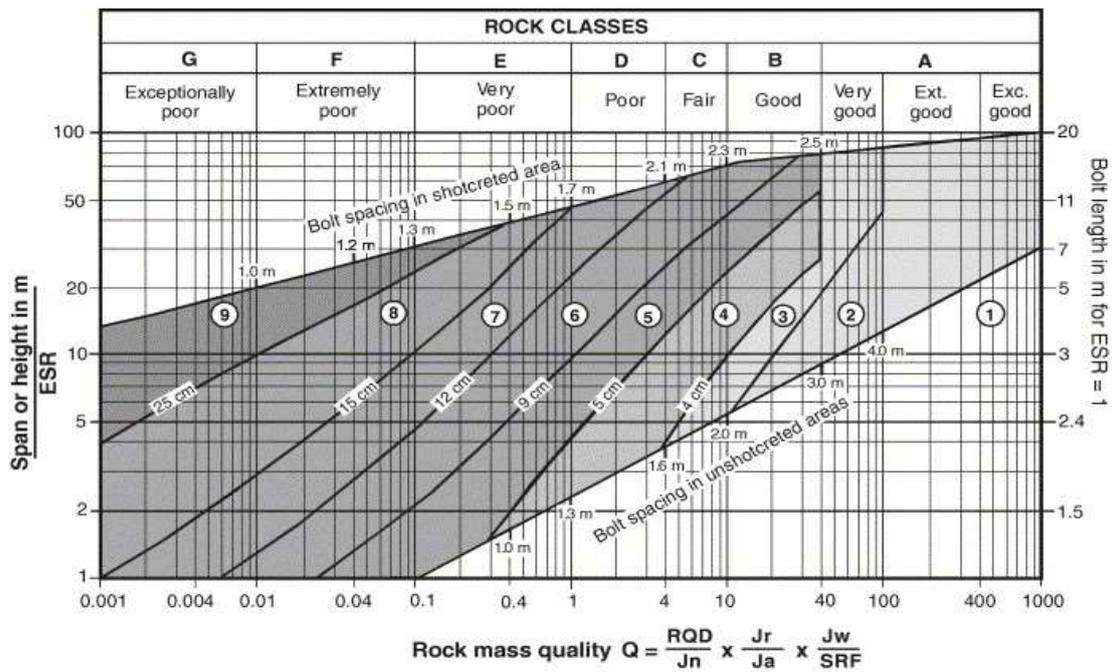
3.1.1.4.2. Clasificación de Barton – Índice “Q”

Según (BARTON, 1994) El sistema Q de clasificación del macizo rocoso fue desarrollado para el soporte del túnel en roca por Barton y se basa en una evaluación numérica de la calidad del macizo rocoso con seis parámetros. La calidad de la roca (Q) se calcula con la expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad \text{Dónde:}$$

- ✓ **Q:** Calidad de la roca
- ✓ **RQD:** Denominación de calidad de la roca
- ✓ **J_n:** Índice de diaclasado (número de familias de discontinuidades)
- ✓ **J_r:** Índice de rugosidad de las discontinuidades
- ✓ **J_a:** Índice de alteración de las discontinuidades
- ✓ **J_w:** Factor de disminución por presencia de agua
- ✓ **SRF:** factor de disminución por tensiones

Ilustración 7: Sistema de clasificación de rocas de Barton



REINFORCEMENT CATEGORIES:

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1) Unsupported 2) Spot bolting 3) Systematic bolting 4) Systematic bolting, (and unreinforced shotcrete, 4 - 10 cm) 5) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 5 - 9 cm | <ul style="list-style-type: none"> 6) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 9 - 12 cm 7) Fibre reinforced shotcrete and bolting, 12 - 15 cm 8) Fibre reinforced shotcrete, > 15 cm, reinforced ribs of shotcrete and bolting 9) Cast concrete lining |
|---|---|

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

El índice Q varía entre 0.001 a 1000 con la siguiente clasificación del macizo rocoso:

- **Entre 0.001 y 0.01:** Roca excepcionalmente mala
- **Entre 0.1:** Roca extremadamente mala
- **Entre 0.1 y 1:** Roca muy mala
- **Entre 1 y 4:** Roca mala
- **Entre 4 y 10:** Roca media
- **Entre 10 y 40:** Roca buena
- **Entre 40 y 100:** Roca muy buena
- **Entre 100 y 400:** Roca extremadamente buena
- **Entre 400 y 1000:** Roca excepcionalmente buena

La principal ventaja del sistema de clasificación Q es que es relativamente sensible a variaciones menores en propiedades de las rocas. Las descripciones utilizadas para evaluar la condición de las discontinuidades son relativamente rigurosas y dejan menos margen para la subjetividad, en comparación con otros sistemas de clasificación de macizos rocosos. Una desventaja del sistema Q es que es relativamente difícil de aplicar para los usuarios sin experiencia.

Existen maneras en las que se puede estimar el espesor del concreto proyectado, una de ellas es la siguiente fórmula:

$$Tc = \frac{D}{150} \times (65 - RSR)$$

- ✓ *Tc = Espesor de shotcrete en pulgadas.*
- ✓ *D = Diámetro de la excavación en pies.*
- ✓ *RSR = 13.3 Log Q + 46.5 (relación de soporte de excavación)*

El diseño del shotcrete en minería es diferente al enfoque de túneles, debido a varias condiciones como la profundidad, ya que las tensiones pueden variar a lo largo de una mina, es por eso que los requisitos para el shotcrete, el espesor, la longitud de los pernos de anclaje deben ser determinados por un ingeniero geotécnico.

3.1.1.4.3. Clasificación adoptada

Según estas clasificaciones (Q, RMR) finalmente son adecuadas, agrupamos las rocas en tres tipos o categorías de roca, siguiendo los criterios planteados por Deere.

Según la valuación de la calidad de las rocas según sus características serán:

- a. **Roca tipo I:** rocas duras y fracturadas moderadamente, con fracturas irregulares y discontinuas, con superficie inalterada y cerrada. El RQD superior a 90%, RMR sobre 60 y Q mayor a 6, diámetro de 6.40 m. este tipo se auto soporta y no necesita soporte sistemático, ocasionalmente pernos puntuales para estabilizar.

- b. **Roca tipo II:** De macizo rocoso levemente meteorizado, de resistencia media a dura, perjudicada por discontinuidades con desplazamiento moderado a amplio (0.2 – 2.0 m). presencia de cortes y fallas de pequeñas a medianas, diaclasas con superficie inalterada a levemente meteorizada y/o con señales de deslizamiento y fracturas frecuentes (continuas y planas). RQD con valores de 25 – 90 %, RMR de 41 – 60 y Q de 0.4 – 6.
- c. **Roca tipo III:** De macizo rocoso cizallado o fracturado, meteorización moderada a completa, resistencia baja a media, presencia de fracturas abiertas y fallas rellenas con material arcilloso, milonita o roca triturada. Los valores de “Q” están entre 0.001 – 0.4 y RMR con valores menores a 40.

Tabla 12: Clasificación de Roca Adoptada

Clasificación de Roca adoptada		I	II	III
Valuación de la calidad de macizos rocosos – sistema de clasificación	Sistema “Q”	> 6	0.4 - 6	0.001 - 0.4
	Sistema ”RMR”	> 60	41 - 60	00 - 40

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

3.1.1.4.4. ÍNDICE G.S.I (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX)

Según (HOEK, 1995) este índice es equivalente al RMR para poder incluir información geológica de la aplicación del criterio de falla generalizada de Hoek - Brown, principalmente para rocas malas a muy malas de calidad (alterada y con contenido de finos).

Según (HOEK, 1995) para determinar G.S.I primero debemos definir la forma experimental de la deformabilidad y resistencia del macizo rocoso, según las condiciones de superficie (alteración, forma de fracturas, relleno) y estructurales (grado de fracturamiento), a partir de estudios de campo.

Ilustración 8: Tabla Geomecánica de RMR

METODOLOGIA DE APLICACION

EL DESPRENDIMIENTO DE ROCA SE EVITA COLOCANDO EL SOPORTE ADECUADO EN EL MOMENTO OPORTUNO.

PROCESO DE MAPEO GEOMECANICO

LA TABLA DE SOSTENIMIENTO SEGUN EL G.S.I., SE APLICA DE ACUERDO A LAS CONDICIONES GEOMECANICAS DEL MACIZO ROCOSO Y SE SUBDIVIDEN DE ACUERDO AL ANCHO DE LA EXCAVACION O MINADO:

- PARA LA UTILIZACION DE ESTA TABLA SE DETERMINA INSITU LO SIGUIENTE
 - ESTRUCTURA: SEGUN LA CANTIDAD DE FRACTURAS POR METRO LINEAL DEFINIDAS CON EL FLEXOMETRO.
 - RESISTENCIA O CONDICION SUPERFICIAL: DEFINIDA POR LA CANTIDAD DE GOLPES DE LA PICOTA O BARRETELLA CON QUE SE ROMPE O LA PROFUNDIDAD DE INDENTACION. PARA HALLAR "G.S.I." DEBE LAVARSE LA ZONA, DIFERENCIANDO FRACTURAS NATURALES Y DE VOLADURA.
 - CUANDO HAY LA PRESENCIA DE ALTERACION EN LAS PAREDES, DE LAS FRACTURAS O EL TIPO DE RELLENO: (GRANULAR, LIMOSO O ARCILLOSO); LA FORMA DE LAS FRACTURAS (LISA, ESTRIADA, ONDULADA, RUGOSA, LIGERAMENTE RUGOSA) Y ESPACIAMIENTO DE LAS FALLAS; SE PROCEDE A DETERMINAR EL TIPO DE SOPORTE DE ACUERDO AL ANCHO DEL MINADO.
- EN EXCAVACIONES QUE NO REQUIERAN SOPORTE SEGUN LA CLASIFICACION GEOMECANICA, PERO PRESENTAN FRACTURAS PARALELAS, VERTICALES Y HORIZONTALES A FAVOR O EN CONTRA DE LA EXCAVACION. EN LABORES PRINCIPALES EL SOSTENIMIENTO SERA EN FORMA SISTEMATICO.
- LA CLASIFICACION Y EL TIPO DE SOPORTE, DEBE REALIZARSE DE INMEDIATO, COLOCANDO EL SOPORTE ADECUADO EN EL TIEMPO INDICADO; DE COLOCARSE EL SOPORTE A DESTIEMPO ES PROBABLEMENTE SE REQUIERA DE UN SOPORTE MAS PESADO DEL QUE SE INDICO.
- FACTORES INFLUYENTES
 - EN EXCAVACIONES REALIZADAS SOBRE EL MACIZO ROCOSO PROPENSO A CRUJIDOS DE ROCA (POPPING ROCK) O ESTALLIDO DE ROCA (ROCKBURST), EL SOSTENIMIENTO DETERMINADO CON LA TABLA GSI SUFRIRA MODIFICACION AL INMEDIATO INFERIOR, ES DECIR SI EL SOSTENIMIENTO ES TIPO "B" PASARA A UN TIPO "C".
 - EN LA EVALUACION DEL SOSTENIMIENTO SE TENDRA EN CUENTA: FLUJO DE AGUA; EL RELAJAMIENTO DE LA ROCA; VOLADURA DEFICIENTE; PRESENCIA DE FALLAS; ZONAS DE INTERSECCION. EL SOSTENIMIENTO DETERMINADO CON LA TABLA GSI SUFRIRA UNA MODIFICACION AL INMEDIATO INFERIOR PARA SU SOSTENIMIENTO.

LA TABLA GSI., SE HA RELACIONADO CON EL INDICE DE MASA ROCOSA (RMR) BIENIAWSKI; ASI MISMO EL TIPO DE ROCA, SOSTENIMIENTO A APLICARSE; RELACIONADO AL TIEMPO DE AUTO SOPORTE Y ABERTURA MAXIMA.

INDICE G.S.I.	INDICE RMR	TIPO DE SOPORTE	TIEMPO DE AUTOSOPORTE		ABERTURA MAXIMA
			LABORES 2.1 - 3.0 mts.	LABORES 3.2 - 5.0 mts.	
LF/ MB (LEVEMENTE FRACTURADA / MUY BUENA)	85-95	A	10 AÑOS	5 AÑOS	20 mts.
LF/ B (LEVEMENTE FRACTURADA / BUENA)	75-85	A	5 AÑOS	3 AÑOS	15 mts.
LF/ R (LEVEMENTE FRACTURADA / REGULAR)	65-75	A	2 AÑOS	1 AÑO	10 mts.
F/ MB (FRACTURADA / MUY BUENA)	75-85	A	5 AÑOS	3 AÑOS	15 mts.
F/ B (FRACTURADA / BUENA)	65-75	A	2 AÑOS	1 AÑO	10 mts.
F/ R (FRACTURADA / REGULAR)	55-65	B	6 MESES	3 MESES	7.0 mts.
F/ M (FRACTURADA / MALA)	45-55	B1	2 SEMANAS	1 SEMANA	4.5 mts.
MF/ B (MUY FRACTURADA / BUENA)	55-65	A	6 MESES	3 MESES	7.0 mts.
MF/ R (MUY FRACTURADA / REGULAR)	45-55	B1 - C	2 SEMANAS	1 SEMANA	4.5 mts.
MF/ M (MUY FRACTURADA / MALA)	35-45	D - D1	5 DIAS	2 DIAS	3.0 mts.
MF/ MM (MUY FRACTURADA / MUY MALA)	25-35	E	3 HORAS (INMEDIATO)	4 HORAS (INMEDIATO)	2.0 mts.
IF/ B (INTENSAMENTE FRACTURADA / BUENA)	45-55	B1 - C	2 SEMANAS	1 SEMANA	4.5 mts.
IF/ R (INTENSAMENTE FRACTURADA / REGULAR)	35-45	D - E	5 DIAS	2 DIAS	3.0 mts.
IF/ M (INTENSAMENTE FRACTURADA / MALA)	25-35	D1 - E	3 HORAS (INMEDIATO)	4 HORAS (INMEDIATO)	2.0 mts.
IF/ MM (INTENSAMENTE FRACTURADA / MUY MALA)	15-25	E	(PRESOPORTE)	(PRESOPORTE)	1.0 mts.

- LA PERFORACION DEL TALADRO PARA SOSTENIMIENTO SERA PERPENDICULARES A LAS PAREDES Y TECHO, SALVO CUANDO SE COLOQUEN PARA ASEGURAR BLOQUES SUELTOS, SIENDO NECESARIO PARA ESTE CASO EL USO DE LAS DE LAS GATAS MECANICAS O PUNTALES DE SEGURIDAD.
- EN LA COLOCACION DE MALLA SE DEBE REALIZAR DE GRADIENTE A GRADIENTE, ASEGURANDO ESTAS AL TECHO MEDIANTE EL USO DE GATAS MECANICAS, Y LUEGO SE ASEGURAN CON LOS PERNOS DE ANCLAJE, ESTA OPERACION EVITARA LA CAIDA DE FRAGMENTOS DE ROCA AL PERFORISTA.
- EN LA COLOCACION DEL SHOTCRETE SE REALIZA DESPUES DE LAVAR LA LABOR CON AGUA A PRESION, SE REQUIERE EL USO DE CALIBRADORES. LA DISTANCIA PARA EVITAR EL EXCESO DE REBOTE ES DE 1.5 mts., DISEÑO Y LA PREPARACION DE LA MEZCLA ADECUADA, LA ILLUMINACION DE LA ZONA, USO DE LOS MANOMETROS EN LOS EQUIPOS, EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL, USO DE DRENES SI HAY PRESENCIA DE AGUA.
- EN LA COLOCACION DE CIMBRAS METALICAS O CUADRO DE MADERA, SE DEBE CONSIDERAR EL CORRECTO ALINIAMIEN TO Y PERPENDICULARIDAD DEBEN ESTAR BIEN ANCLADAS Y TOPADAS A LA SUPERFICIE DE LA SECCION.

MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE CONTROL

LA VOLADURA CONTROLADA: EN ESPECIAL EN LAS CORONAS, PARA LO CUAL SE DEBERA ESPACIAR ADECUADAMENTE LOS TALADROS Y DISTRIBUIR MEJOR LA CARGA EXPLOSIVA.

NO ACUMULAR TALADROS PARA LA COLOCACION DE PERNOS. "TALADRO PERFORADO, PERNO COLOCADO".

NUNCA PERFORAR TALADROS EN LA DIRECCION DE LA FRACTURA O FALLA.

LA CALIDAD DEL SOSTENIMIENTO VA EN FUNCION A LOS ESTANDARES Y PETS PARA SU EJECUCION, CAPACITACION PERMANENTE AL PERSONAL EN LA APLICACION DE LA TABLA GSI., Y EL COLOCADO DEL SOSTENIMIENTO.

MINA CASAPALCA
SOSTENIMIENTO
SEGUN GSI MODIFICADO
LABORES MINERAS DE DESARROLLO Y
EXPLOTACION (2.50 a 4.50 m. de Luz)

CONDICION SUPERFICIAL	RESISTENCIA Y/O CONDICION SUPERFICIAL	MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) (M B)	BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (B)	REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MOD. ALTER.) (R)	MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) (M)	MUY MALA (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA) (MM)
A	SIN SOPORTE O PERNO OCASIONAL (CONTROL DE BLOQUES INESTABLES)	MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) (M B) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc > 250 MPa) (SE APTILLA CON GOLPES DE PICOTA)	BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) (B) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LIGER. ABIERTA. (Rc 100 a 250 MPa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA)	REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MOD. ALTER.) (R) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 a 100 MPa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA)	MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) (M) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRIACIONES, MUY ALTERADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc 25 a 50 MPa) - (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE)	MUY MALA (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA) (MM) SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIADA, MUY ABIERTA CON RELLENO DE ARCILLAS B LANDAS. (Rc < 25 MPa) (SE DISGREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE)
B	PERNO SISTEMATICO. (1.8 x 1.8 m.) CINTA METALICA O MALLA OCASIONAL)					
B1	PERNO SISTEMATICO. (1.5 x 1.5 m.) CINTA METALICA O MALLA OBLIGATORIA)					
C	PERNO SISTEMATICO. (1.20 x 1.20 m.) SHOTCRETE CON FIBRA (0.05 m.) CUADROS DE MADERA.					
D1	PERNOS SISTEMATICOS (1.0 x 1.0 m.) SHOTCRETE CON FIBRA (0.10 m.) CUADROS DE MADERA.					
E	CIMBRAS METALICAS O CUADROS DE MADERA.					

ESTRUCTURA

ESTRUCTURA	Abaco de relacion con RMR.	CONDICION SUPERFICIAL	RESISTENCIA Y/O CONDICION SUPERFICIAL
LF LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (2 A 6 FRACT. POR METRO) (RQD 75 - 90) (RQD = 115 - 3.3 Jn.)		95 90 85 80 75	A B B1 C D
F MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD 50 - 75) (6 A 12 FRACT. POR METRO)		65 60	A B B1 C D
MF MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (RQD 25 - 50) (12 A 20 FRACT. POR METRO)		55 50 45 40	A B B1 C D D1
IF INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 0 - 25) (MAS DE 20 FRACT. POR METRO)			B C D D1 E
T TRITURADA O BRECHADA. LIGERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISGREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN RQD)			E T/M T/MM

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

Según la tabla la clasificación variara de la siguiente manera:

Condiciones superficiales	Condiciones estructurales
➤ Muy buena. (MB)	➤ Levemente fracturada. (LF)
➤ Buena (8)	➤ Fracturada (F)
➤ Regular (R)	➤ Muy fracturada. (MF)
➤ Pobre (P)	➤ Intensamente fracturada. (IF)
➤ Muy pobre. (MP)	➤ Triturada (T)

La aplicación de la tabla permite un modo sencillo de identificar el sostenimiento óptimo por ejemplo una roca moderadamente fracturada, regular (LF/R), usando los ábacos de G.S.I. relacionamos con valores del Índice RMR o Índice Q, nos daría RMR de 70 y un valor de Q de 6.3.

3.1.2. SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE

El término concreto lanzado se utiliza para referirse a “Un concreto o mortero transportado por una manguera y proyectado neumáticamente a alta velocidad en una superficie”. Simplemente dicho, el concreto lanzado es concreto o mortero rociado. Si la mezcla que se va a lanzar cuenta sólo con agregados finos, se le llama mortero lanzado, y si los agregados son gruesos se le denomina concreto lanzado.

Es una técnica utilizada para colocar concreto con la velocidad suficiente para adquirir una adecuada compactación.

Existen dos procedimientos para el lanzado de concreto: vía seca y vía húmeda. Algunos contratistas utilizan el término “gunite” para describir el proceso por la vía seca, y “concreto lanzado” para describir el proceso de la vía húmeda. Tal uso es incorrecto y está en conflicto con el Instituto Americano del Concreto (Por sus siglas en ingles American Concrete Institute “ACI”) y la Asociación de Cemento de Portland (Por sus siglas en ingles Portland

Cement Association “PCA”). El Concreto lanzado, tanto por la vía seca o húmeda, es el término correcto para describir todo el concreto o mortero rociado.

El concreto lanzado es similar a un concreto convencional de alta calidad, con respecto a sus propiedades. Típicamente tiene una baja relación agua / cemento (a/c), normalmente el material fresco colocado tiene un revenimiento cero y puede sostenerse por sí mismo sin escurrirse. El concreto lanzado también puede colocarse hacia arriba, en una sola operación en plafones, en espesores hasta de 50 mm.

Adquiere algunas de sus propiedades únicas en el proceso de colocación, ya que es compactado simultáneamente al impactar la superficie. El Concreto lanzado es quizás el método más diverso disponible para la construcción con concreto. Los procedimientos para su funcionamiento apropiado están bien desarrollados, y el trabajo de alta calidad se obtiene regularmente. El funcionamiento confiable, sin embargo, requiere que los diseñadores y los constructores entiendan y empleen los procedimientos apropiados para el uso individual.

3.1.2.1. DISEÑO Y CAPACIDAD DE CARGA

3.1.2.1.1. CALCULO DEL ESPESOR DEL SHOTCRETE

Para la determinación del espesor del shotcrete, se tiene que tener en cuenta el índice “Q” y aplicar la siguiente fórmula:

$$TC = \frac{D}{150} (65 - RSR)$$

- TC = Espesor de Shotcrete en pulgadas.
- D = Diámetro de la excavación en pies.
- **RSR = 13.3 Log. Q + 46.5** (relación de soporte de excavación).

Q	0.40	1.00	6.00
RSR	41.21	46.50	56.85
TC	2.34	1.82	0.80
Promedio TC	1.57	pulg	

Para un diámetro de labor de 4.5 metros equivalentes a 14.76 pies se obtendrá un espesor promedio de 1.57 pulgadas pero por razones de seguridad se considera un espesor de 2 pulgadas para labores con calidad de roca entre 0.4 y 6 según Barton.

3.1.2.1.2. CAPACIDAD DE CARGAS

Para determinar la presión máxima de soporte del shotcrete cuando este es aplicado a sección completa y distribución uniforme; se aplica la siguiente formula:

$$P_{smax.} = \frac{1}{2} ac. shot \left\{ 1 - \left(\frac{ri - tc}{ri^2} \right)^2 \right\}$$

- $P_{smax.}$ = Presión máxima del Soporte (Kg. /cm²).
- $ac. shot$ =resistencia a la compresión del shotcrete (Kg. /CM²)
- ri = Radio de excavación del túnel (cm.)
- Tc = Espesor de shotcrete en cm.

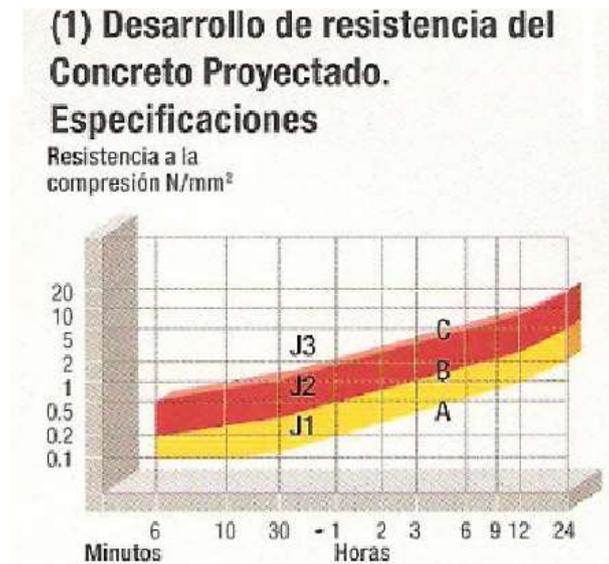
3.1.2.2. REQUERIMIENTOS DEL SHOTCRETE

Según (Sika, 2016) Para el diseñador del proyecto, el factor más importante es cumplir con las especificaciones de los estándares para el trabajo de concreto Proyectado, mientras que el contratista busca un método de producción e instalación que garantice la calidad requerida al mínimo costo. Por otro lado, Salud y seguridad demandan la máxima higiene y seguridad en obra durante las operaciones de colocación del Concreto Proyectado (máxima resistencia, baja contaminación de polvo y mínimo riesgo en sustancias toxicas o alcalinas).

3.1.2.2.1. RESISTENCIA INICIAL

Según (Sika, 2016) Este es un prerrequisito para el concreto Proyectado sobre cabeza, particularmente para altos rendimientos, cuando se aplican capas gruesas o cuando se lanzan en lugares con filtraciones de agua. La curva de desarrollo de resistencia en los primeros minutos tiene una fuerte influencia en la generación de polvo y en rebote. El desarrollo de la resistencia inicial se evalúa entre los 6 y los 60 minutos, luego las medidas se hacen cada hora.

Ilustración 9: Resistencia Inicial del Concreto lanzado

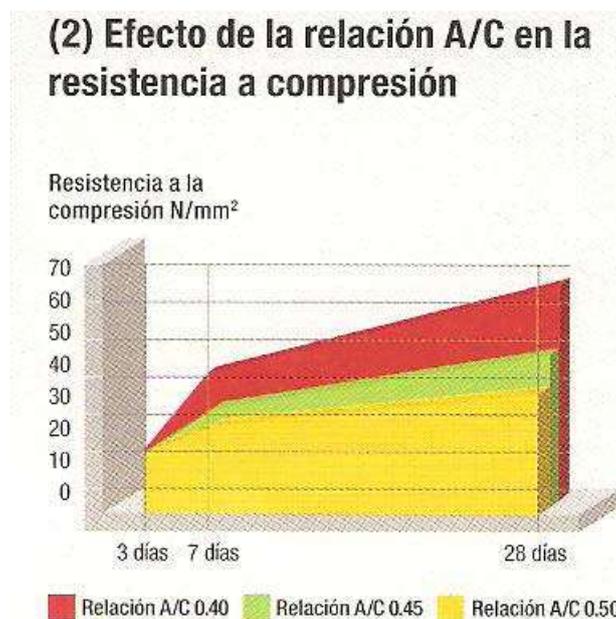


Fuente: Concreto Proyectado Para Túneles Y Minas – SIKA

3.1.2.2.2. RESISTENCIA FINAL

Según (Sika, 2016) A menor cantidad de agua en la mezcla, menor porosidad de la pasta de concreto endurecido. Esto tiene un efectivo ventajoso en la mayoría de las propiedades del concreto, especialmente para la resistencia para la resistencia a la compresión.

Ilustración 10: Resistencia Final del Concreto Lanzado



Fuente: Concreto Proyectado Para Túneles Y Minas – SIKA

3.1.2.2.3. DURABILIDAD E IMPERMEABILIDAD

Según (Sika, 2016) Durabilidad significa baja impermeabilidad. La baja porosidad capilar es esencial para una alta estanqueidad y se obtiene mediante la aplicación correcta del concreto proyectado con una baja relación A/C y un concreto bien curado.

Ilustración 11: Durabilidad E Impermeabilidad del Concreto Lanzado



Fuente: Concreto Proyectado Para Túneles Y Minas – SIKA

3.1.2.3. SISTEMAS DE APLICACIÓN

Según (CARRASCO, 2015) el shotcrete se emplea en tres sistemas distintos de dotación de agua, estos son:

3.1.2.3.1. SISTEMA MEZCLA SECA

Con anticipación se realiza el diseño de mezcla en seco, en una planta de premezcladora ubicada en superficie, posteriormente es trasladada a la mina en vehículos que pueden volquetes o autoalimentadores (mixer).

En caso de transportarse en volquete, la mezcla deberá verterse en un mixer o también se puede alimentar manualmente a una maquina shotcretera ahí es que la mezcla es lanzada usando una manguera.

En la máquina shotcretera la mezcla ingresa a la manguera que lanza la mezcla neumáticamente hasta la boquilla de diseño específico para la tarea, que viene con un distribuidor múltiple por donde el agua ingresa y se atomiza mojando la mezcla y proyectándola a la superficie.

Para una mejor adherencia se incorpora aditivo acelerante instantáneo o Sigunit lo cual se realiza durante la aplicación del rotor.

3.1.2.3.1.1.DISEÑO DE LA MEZCLA PROYECTADA VÍA SECA

El diseño de la mezcla del concreto proyectado vía seca depende de nuevo de los requerimientos. Sin embargo, además de las especificaciones de resistencia temprana, la necesidad de optimizar la generación de polvo y el rebote son esenciales para que el concreto proyectado vía seca sea económicamente eficiente. Con base en todos estos parámetros se seleccionan el tipo de cemento y su contenido, el tipo de agregado y su gradación, el contenido de agua (humedad) y el tipo y cantidad de aditivos para concreto proyectado. Las mezclas se evalúan mediante ensayos que confirman el diseño o se adaptan de acuerdo a los resultados.

3.1.2.3.2. SISTEMA MEZCLA SEMI HÚMEDA

Este sistema es muy similar a la vía seca con la diferencia de que el agua se adiciona a la mezcla a 5 metros de la boquilla con una proporción aproximada de 5 a 6 litros por bolsa de cemento, con la finalidad de humedecer la mezcla y evitar la generación de polvo, durante este proceso se le agregan los aditivos necesarios.

La principal ventaja de este sistema es la baja presencia de polvo sin embargo no se puede regular la consistencia de la mezcla según la distancia y ángulo de aplicación, generando así desperdicios, además de que la mezcla no se puede conservar ya que corre peligro de fraguar.

3.1.2.3.3. SISTEMA MEZCLA HÚMEDA

El método por vía seca consiste en mezclar antes el cemento, los agregados, el agua y aditivos en una planta de pre-mezclado o en un camión mezclador para verterla en la maquina shotcretera; la mezcla es uniforme y única por lo tanto durante el lanzamiento no se puede controlar el contenido de agua en función a la distancia y se deberá tener cuidado con respecto al uso de aditivos. Puede generar desperdicios en la aplicación de shotcrete al techo.

3.1.2.3.3.1. DISEÑO DE LA MEZCLA PROYECTADA VÍA HÚMEDO

El diseño de la mezcla del concreto proyectado vía húmeda depende de los requerimientos y de la manejabilidad esperada, en otras palabras de los siguientes parámetros:

- Las especificaciones del concreto endurecido (resistencia a la compresión/ durabilidad).
- El concepto logístico a utilizarse (métodos de manejo/condiciones de temperatura).
- Las condiciones especificadas del material colocado (desarrollo de la resistencia temprana y muy temprana).
- Los costos de la mezcla de concreto proyectado vía húmeda.

Con base en todos estos parámetros se selecciona el tipo de cemento y su contenido, el tipo de agregado y su gradación, el contenido de agua y el tipo y cantidad de aditivos, la mezcla se evalúa mediante ensayos que confirman el diseño o se adaptan de acuerdo a los resultados.

3.1.2.4. MATERIALES EMPLEADOS

Según (HOFLER, 2004) El shotcrete está conformado por cemento, áridos fino y grueso (hasta 10 mm), agua, aditivos y en excepciones finos complementarios como Microsílice. Un parámetro muy importante en la mezcla viene a ser la relación agua/cemento que viene a ser la masa del agua dividida con la masa del cemento, esto puede repercutir directamente en la durabilidad de la mezcla así como su resistencia a edades tempranas.

3.1.2.4.1. CEMENTO

El cemento comúnmente utilizado para el shotcrete en nuestro país es el cemento portland puzolanico o portland siderúrgico de alta resistencia.

El cemento actúa como un “aglutinante” en la mezcla de concreto proyectado que une y fija las partículas de agregado a través de la mezcla. El cemento también actúa como lubricante principal del shotcrete, tiene un fraguado hidráulico y por ello es parcialmente responsable de las propiedades mecánicas de la mezcla endurecida. Sin embargo, aquí hay un requerimiento importante que no es condición en concreto estructural.

El cemento para el concreto proyectado siempre debe empezar a fraguar extremadamente rápido y producir alta resistencia temprana.

Tabla 13: Composición E Información De Ingredientes

Compuesto	N° CAS	P.M. (g/mol)	Fórmula Química	Abreviatura
Silicato Tricálcico	12168-85-3	228.1	3CaO.SiO ₂	C3S
Silicato Dicálcico	10034-77-2	172.1	2CaO.SiO ₂	C2S
Aluminato Tricálcico	12042-78-3	269.9	3CaO.Al ₂ O ₃	C3A
Ferroaluminato tetra cálcico	12068-35-8	485.6	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C4AF
Yeso	13397-24-5	172.14	CaSO ₄ .H ₂ O	
Caliza	1317-65-3	100.0	CaCO ₃	

Fuente: Unacem

3.1.2.4.2. MATERIALES FINOS COMPLEMENTARIOS

3.1.2.4.2.1. MICROSÍLICE

Según (CARRASCO, 2015) Microsílice o humo de sílice es amorfa, es un material dividido finamente el cual se puede adicionar al shotcrete para mejorar algunas características en estado fresco o endurecido, las bondades de su uso son principalmente aumento en la impermeabilidad y durabilidad de la mezcla lanzada debido al menor tamaño de los componentes, lo cual significa también una reducción en el rebote, por ende la adherencia será mejor.

Al ser la mezcla de componentes finos mejora la fluidez en el bombeo y reduce el desgaste de la bomba y la boquilla por lo cual permitirá la adherencia de una capa de shotcrete de mayor espesor, se recomienda una proporción que oscile entre el 5 y 10% de la mezcla aunque se requiere mayores estudios para obtener la proporción adecuada.

3.1.2.4.3. ÁRIDOS

Se deberá cumplir con la norma técnica NTP339, los áridos deberán tener una granulometría adecuada para la mezcla comúnmente recomendada por el proveedor o comprador, otros agregados fuera de la norma se utilizaran siempre y cuando lo requiera el diseño ya que mientras más grueso el árido tendremos mayor rebote y mientras más fino se obtendrá mayor retracción, por lo cual se realizara las pruebas previas a la elección del diseño de mezcla mediante ensayos con sales, sulfatos y cloruros.

Además de la granulometría se deberá contemplar el comportamiento con el agua a emplear, de ser posible deberá ser potable, caso contrario agua con sólidos disueltos menores a 3000 ppm, caso contrario esto puede repercutir en el comportamiento y durabilidad, otro factor que interviene será la temperatura del agua utilizada durante el lanzado.

Tabla 14: Estándar de mallas según ASTM

Estándar de mallas según ASTM %	
N° de Mallas	%ASTM
½ ”	81 - 100
3/8 ”	65 - 80
N° 4	48 - 64
N° 8	34 - 54
N° 16	20 - 36
N° 50	07 - 18
N° 100	03 - 12
N° 200	00 - 05

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.4.4. ADITIVOS QUÍMICOS

3.1.2.4.4.1. GENERALIDADES.

En caso se requiera características especiales en la mezcla este deberá contar con el uso de aditivos químicos, se podrá emplear varios de ellos por ello deberá probar su compatibilidad para obtener resultados deseados, esto será certificado por el fabricante del producto a utilizar.

Se usa generalmente los acelerantes de fraguado aunque existen más aditivos que cumplen diversas funciones, estos deberán ser abastecidos a la mezcla mediante un sistema que regule la dosis, al cual no debe exceder lo recomendado por el fabricante o el proyecto.

Para el uso del shotcrete contamos principalmente con cuatro tipos de aditivos químicos los cuales se utilizan para mejorar el comportamiento de la mezcla como son el control de fraguado, hidratación, resistencia temprana y en el tiempo y capacidad de bombeo, estos podrán afectar a favor o en contra de las características del shotcrete dependiendo de la proporción.

3.1.2.4.4.2. REDUCTORES DE AGUA DE BAJO RANGO.

Según (CARRASCO, 2015) se emplea reductores de agua para mejorar la trabajabilidad del proceso y reducir la proporción agua/cemento de la mezcla.

Puede presentar carácter de retardante de fraguado pero para su empleo se deberá realizar ensayos según se requiera en el diseño de la mezcla y del proceso, siguiendo los parámetros proporcionados por el fabricante.

3.1.2.4.4.3. REDUCTORES DE AGUA (SUPERPLASTIFICANTES).

Según (CARRASCO, 2015) para su empleo se deberá realizar un estudio más exhaustivo puesto que su empleo repercutirá en la resistencia final de la mezcla, para lo cual se deberá manipular tomando en cuenta la compatibilidad y el desempeño del aditivo en el producto final obtenido.

Al igual que los reductores de bajo rango mejora significativamente su trabajabilidad, bombeabilidad y resistencia, al ser de mayor proporción permite una mayor reducción de la relación agua/cemento, por lo cual generalmente se usa solo en shotcrete lanzado vía húmeda en dosis pequeñas que oscila de 0.5% a 2% del peso del cemento, teniendo en cuenta las especificaciones detalladas por el fabricante.

3.1.2.4.4. CONTROLADOR DE HIDRATACIÓN.

Según (CARRASCO, 2015) la mezcla de ser trasladada por largas distancias requerirá tener un comportamiento plástico por un número de horas o incluso días, por lo cual requerirá aditivos especiales para mantener su trabajabilidad en este tiempo ya que la hidratación del cemento reduce su resistencia final.

Al hidratarse el silicato de calcio este forma cristales lo cual inicia la reacción para su fraguado, para evitar esto se adiciona un controlador de hidratación o estabilizador, el cual recubre el cemento y detiene temporalmente el proceso de hidratación, el tiempo será determinado por la dosis de aditivo empleado en la mezcla, el proceso será detenido con la adición de un aditivo acelerante, reactivando así la hidratación.

Se corre el riesgo de asentamiento o segregación aunque se utilice el aditivo, por lo cual se deberá realizar ensayos para determinar una proporción adecuada según el tiempo que requiera puesto que el uso de controladores de hidratación no está contemplado por la norma dando oportunidades para mejorar en la construcción.

3.1.2.4.4.5. ACELERANTE.

Según (CARRASCO, 2015) Los acelerantes son empleados para la colocación de la mezcla ya que se acortara el tiempo de fraguado normal, esto puede mejorar la resistencia inicial del producto obtenido aunque no se deberá abusar de la dosis puesto que una sobre dosis podría comprometer el comportamiento, resistencia y durabilidad, por lo cual se deberá seguir las instrucciones brindadas por el fabricante.

Generalmente este aditivo se agrega en la manguera de distribución para la vía húmeda y en la boquilla caso vía seca.

Entre las principales bondades del aditivo acelerante tenemos la reducción de desprendimiento de la mezcla proyectada, por ende un aumento en el espesor de la capa, especialmente en caja techo, al reducir el tiempo de fraguado se incrementara la velocidad en la operación, y al tener un PH de 3 y ser libres de álcalis se obtendrá un lugar de trabajo más seguro en comparación con antiguos modelos que contaban con PH de 11 a 13.

Los acelerantes actúan incrementando la hidratación del silicato de calcio formando cristales de etringita e incrementando su rigidez en corto tiempo, por lo cual se deberá contar con ensayos para tener la dosis adecuada y la máxima proporción sin afectar su durabilidad a largo plazo, generalmente esta proporción varia de 3% a 8% de peso del cemento.

Los acelerantes comúnmente vienen en forma líquida aunque también existen en forma en polvo, estas dos clases tienen diferentes vías de reacción y características que podría repercutir en la hidratación, velocidad de fraguado y sobre todo en la resistencia, en ocasiones inclusive sobre la corrosión de la fibra de acero de refuerzo.

Los acelerantes más recientes son libres de álcalis ya que carecen de iones alcalinos (Na^+ o K^+), este elemento es peligroso debido a que puede producir quemaduras causticas en piel, pulmones u ojos, por esto su empleo se está volviendo cada vez más frecuente en consecuencia en la practica internacional.

Hoy en día se suele usar el aditivo tiempo antes de la proyección para poder incrementar la velocidad de hidratación para que puedan ser lo suficientemente rápidos al momento del lanzado, donde actuaran con mayor eficiencia los acelerante basados en sulfato de aluminio o aluminato de calcio que aceleran la formación de cristales de etringita, siempre tomando en cuenta las necesidades operacionales ya que comprometerá directamente la durabilidad del producto obtenido.

3.1.2.4.4.6. OTROS ADITIVOS

Estos podrán ser pigmentantes, que le darán color a la mezcla, impermeabilizantes para evitar el ingreso de fluidos, aditivos para el control de retracción entre otros que se usaran para necesidades especiales.

Todos ellos deberán ser suministrados según las especificaciones del fabricante u las necesidades del trabajo a realizar.

3.1.2.4.5. FIBRAS DE REFUERZO

Según (CARRASCO, 2015) una fibra de refuerzo es un “Filamento alargado y esbelto en forma de manojo, malla o hebra de material natural o manufacturado que puede ser distribuido a través del hormigón fresco”. ASTM C 1116, esta norma clasifica las fibras de acuerdo al material que lo compone.

- **Tipo I:** Acero (aleación, inoxidable o al carbón).
- **Tipo II:** Fibra de Vidrio
- **Tipo III:** Sintéticas (Polipropileno)

Las fibras generalmente son de hasta 65 mm de largo y de diámetro menor a 1 mm, con capacidad de tracción, suelen añadirse para la dar capacidad de carga a la mezcla, también para añadir resistencia al impacto o controlar la retracción, pero no incrementan resistencia a la tracción o flexión cuando se usa una dosificación normal.

El uso de fibras de refuerzo tiene como bondades la reducción del rebote y la mejora de la compactación, mejorando la adherencia ya que se adecua al perfil irregular del macizo rocoso, en cuanto a lo económico se mejora en comparación al uso de mallas electrosoldadas ya que cumplirá una función similar y finalmente en la logística ofrecerá mejoras en su aplicación, seguridad y productividad.

La dosis que se debe emplear es expresada en Kg/m³ de hormigón proyectado y de igual forma se deberá realizar ensayos para poder determinar la proporción adecuada.

Generalmente se emplea las fibras de acero aunque también las hay de Nylon, vidrio y carbono aunque son menos empleadas, estas a su vez se clasifican en estructurales (acero y macro fibras sintéticas) y no estructural (micro fibras sintéticas).

La dosificación más empleada viene a ser de 1 a 2 kg/m³ debido a su comportamiento en términos de tenacidad, además sirven para la liberación de gases y el desconche en caso someterse el hormigón proyectado al fuego.

En la práctica no se puede verificar en ensayos de pequeña dimensión la eficiencia del uso de fibras debido a la mala distribución de las fibras, aunque en vía húmeda se puede determinar un recuento de fibras mediante trituración en probetas (caso fibra metálica).

3.1.2.5. EQUIPOS DE LANZADO

3.1.2.5.1. EQUIPO VÍA HÚMEDA

En el lanzado de concreto proyectado en húmedo, se emplean métodos manuales y mecánicos, pero tradicionalmente se aplica con máquina. Los grandes volúmenes y las enormes secciones transversales que se elaboran, requieren que el trabajo sea mecanizado.

Cuando se trabaja con mezclas húmedas, se usan principalmente sistemas de concreto proyectado con bombas dúplex. A diferencia de las bombas de concreto tradicionales, estos sistemas deben satisfacer el requerimiento adicional de mantener el flujo de concreto de manera tan constante como sea posible, y por lo tanto continuo, a fin de garantizar una aplicación homogénea del lanzado.

3.1.2.5.2. EQUIPO VÍA SECA

El proceso de lanzado vía seca puede hacerse de manera mecánica o manual. Debido a que, puede utilizarse concreto proyectado vía seca para bajos volúmenes de lanzado, la aplicación manual es mucho más importante que en el caso del concreto proyectado vía húmedo. Como se describió, se aplican mezclas secas con máquinas a rotor, que difieren en:

- Rendimiento (m³/h).
- Usos (en seco/en húmedo/ambos).
- Fuerza de propulsión (neumática/eléctrica).
- Tamaño de la unidad de lanzado (dimensiones/peso/conveniencia).
- Control (manual/parcialmente automatizado).
- Operación (en la unidad/control remoto).
- Instalaciones adicionales (dosificadores/equipo de limpieza).

Las máquinas de rotor son robustas en cuanto a diseño y tiene una larga tradición, pero aún hay mucho para desarrollar, concentrándose en las siguientes áreas:

- Mejora en la resistencia de las partes que se desgastan.
- Mejora en la protección contra polvo.
- Logro de mayor eficiencia en el llenado de las cámaras.
- Aumento del volumen de lanzado para algunas aplicaciones.

3.1.2.6. LANZADO DE SHOTCRETE

Según (HOFLER, 2004) El shotcrete se aplica por capas, ya sea en la misma operación mediante lanzado consecutivo sobre la misma área o en una operación subsecuente.

Después de una prolongada pausa se deberá limpiar y remojar nuevamente la superficie, en cada operación la cantidad de material dependerá de varios factores:

- Adherencia de la mezcla de concreto proyectado (cemento/tamaño máximo de partícula / acelerante).
- Naturaleza del sustrato o de la capa que conforman la base.
- Proceso del lanzado.
- Volumen de Lanzado.
- Dirección del lanzado (hacia arriba/horizontalmente).
- Obstrucciones (refuerzo/agua).

Se requiere un enfoque diferente para las diversas direcciones del lanzado.

Al lanzar hacia abajo, se puede aplicar capas de cualquier espesor. Hay que asegurarse de que el rebote sea desechado para evitar que no se solidifique en la superficie.

Al lanzar horizontalmente se ira alcanzando el espesor adecuado gradualmente en capas delgadas o también el espesor completo tras aplicarse lanzando de abajo hacia arriba de forma inclinada. De igual forma se deberá retirar el rebote para proceder con la siguiente capa.

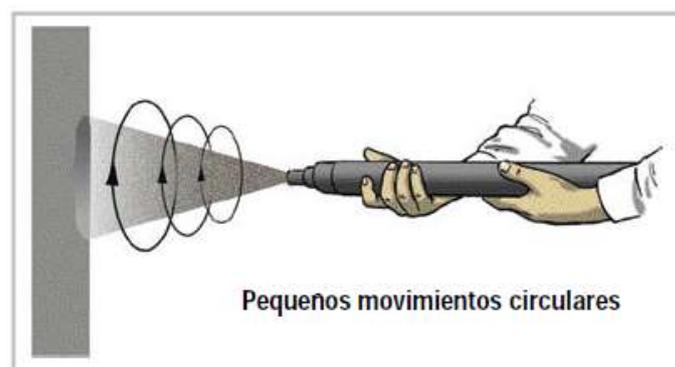
Al lanzar la clave está en el peso del material y la adherencia del concreto proyectado para lo cual se deberá trabajar en capas delgadas. Como regla general, un volumen menor de lanzado y capas más delgadas generan menos rebote lo que a la final da mejor resultado.

El concreto proyectado debe aplicarse en ángulos rectos con respecto al concreto colocado. Esto maximiza la compactación y adherencia y minimiza el rebote.

El concreto o mortero proyectado se aplican de manera mecánica o manual con movimientos circulares uniformes sobre la superficie. Es particularmente difícil y requiere experiencia lanzar sobre refuerzos porque las cavidades son muy frecuentes debido a los desniveles en el lanzado. Esto se evita usando concreto proyectado reforzado con fibra de acero.

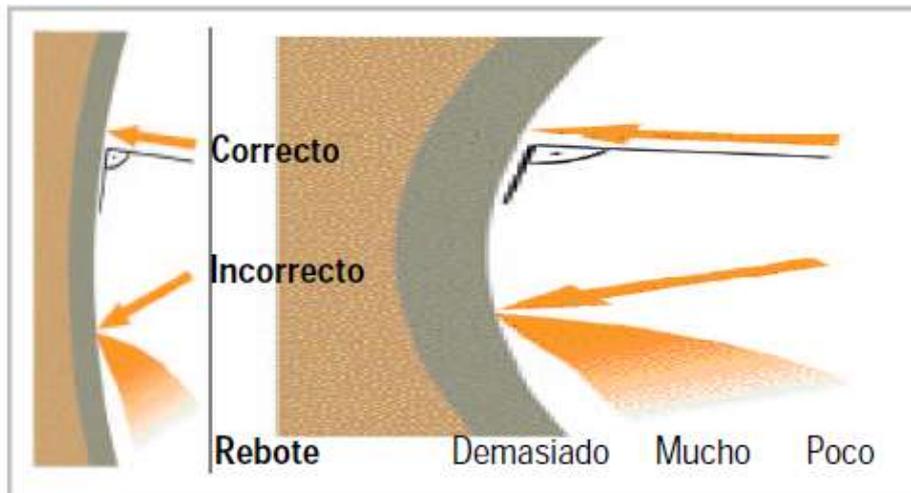
La distancia ideal para lanzar es de 1.20 a 1.50 m pero en la práctica se hace dentro del rango de 1.0 a 2.0 m. A mayores distancias incrementa el rebote y generación de polvo con lo que reduce la eficiencia de la aplicación.

Ilustración 12: Manejo De La Boquilla Para Regularizar La Superficie Lanzada.



Fuente: Introducción A La Tecnología Básica De Concreto Proyectado - Jurgen Hofler

Ilustración 13: La influencia del ángulo de lanzado en el rebote.



Fuente: Introducción a la tecnología básica de Concreto Proyectado - Jurgen Hofler

3.1.2.7. REBOTE

Según (HOFLE, 2004) Unos de los desafíos más complejos en el lanzado del concreto proyectado es reducir la cantidad de material de rebote. Son tantos los factores que influyen en él que es extremadamente difícil efectuar un control sistemático. Desde luego que el factor primordial, es el operador de la boquilla. La cantidad de material que rebota depende enormemente de la habilidad y experiencia del operador. Esto, claro está, es de vital importancia económica y logística, ya que por cada tonelada de material rebotado se duplica la cantidad de trabajo.

Los factores que influyen en la cantidad de rebote son:

- La experiencia y pericia del operador de la boquilla.
- Dirección del lanzado (hacia abajo, hacia arriba u horizontalmente).
- Unidad de lanzado (presión del aire, boquilla, volumen lanzado).
- Proceso de lanzado (en seco/en húmedo).
- Diseño del concreto proyectado (agregado, gradación, acelerante, fibra, cementante).
- Concreto proyectado (resistencia muy temprana, adherencia, espesor de las capas).
- Condición del substrato (uniformidad, adherencia).

El rebote cambia durante el proceso de lanzado. En los primeros minutos lo que rebota principalmente es el agregado debido a que es preciso hacer una capa de adherencia sobre el substrato, luego, todo los componentes de la mezcla rebotan durante la operación de lanzado. Puede controlarse la cantidad de material rebotado efectivamente con la adherencia del concreto proyectado.

Tabla 15: Porcentaje de rechazo típico para diferentes superficies vía seca

Superficie	Porcentaje de Rebote	
	Mínimo	Máximo
Soleras o pisos	5%	10%
Paredes verticales o ligeramente inclinadas	15%	30%
Techos o bóvedas	25%	40%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16: Porcentaje de rechazo típico para diferentes superficies vía húmeda

Superficie	Porcentaje de Rebote	
	Mínimo	Máximo
Soleras o pisos	2%	5%
Paredes verticales o ligeramente inclinadas	5%	10%
Techos o bóvedas	10%	15%

Fuente: Elaboración Propia

CALIDAD DEL MATERIAL REBOTADO

Puede estimarse grosso modo la cantidad de material de rebote cuando no existen mediciones en las condiciones que prevalecen en el lugar, así:

- Para concreto proyectado en seco el rebote es de 20% a 40% en aplicaciones verticales hacia arriba.
- Para concreto proyectado vía húmeda el rebote es de 5 a 15% en aplicaciones verticales hacia arriba.

REUTILIZACIÓN/DESECHO

En principio, el material rebotado de concreto proyectado es concreto reciclable con todos los componentes de la mezcla original. Sin embargo, puede estar contaminado por las condiciones reinantes en el medio. De la misma manera que con el concreto estructural, una pequeña proporción, máximo de un 10% a un 20% del material rebotado en el proceso de lanzado, puede reutilizarse sin ningún problema, siempre y cuando sea correctamente tratado.

3.1.2.8. GENERACIÓN DE POLVO

Según (HOFLER, 2004) Cualquier tipo de aplicación de concreto proyectado genera polvo. Sin embargo, difieren en mucho, los tipos y cantidades de polvo generado. Este es un problema importante del concreto proyectado vía seca porque los componentes tienen una tendencia natural a generar polvo. La cantidad de polvo que se produce puede reducirse mediante prácticas adecuadas. Entre las medidas para reducir cantidades de polvo emitido en el lanzado del concreto por vía seca, están:

- Utilización de agregados ligeramente húmedos (en vez de secados al aire).
- Sellamiento del sistema de transporte.
- Parámetro de la boquilla correctamente ajustado y coordinado (sincronización), (minimización del aire), agua, acelerante (minimizados).
- Utilización de acelerantes de fraguado libres de álcalis.
- Empleo de brazos de lanzado para volúmenes de salida superiores a 6 m³/h.
- Aditivos para concreto proyectado que aglutinan el polvo.

A pesar de todas esas medidas precautelativas, en el lanzado de concreto proyectado en seco se produce de dos a tres veces más polvo que en lanzado en húmedo. Para mejorar la seguridad, deben emplearse únicamente acelerantes libres de álcalis.

3.1.2.9. SOMBRAS EN EL LANZADO

Según (HOFILER, 2004) En las reparaciones de concretos y morteros proyectados, los vacíos en el material aplicado, tales como los que se encuentran detrás del refuerzo constituyen un problema importante y se han convertido también en un desafío en la construcción con este material. Un lanzador bien experimentado podría llegar a reducir las sombras del lanzado escogiendo una secuencia apropiada. Es pues esencial tener como criterio principal para una alta calidad del concreto proyectado, la experiencia y pericia del lanzador.

CAPÍTULO IV

SITUACIÓN ACTUAL SHOTCRETE

4.1.APLICACIÓN DE SHOTCRETE VÍA SECA

4.1.1. PROCESO DE APLICACIÓN SISTEMA DE SHOTCRETE VÍA SECA

Primero se procede a realizar la mezcla del cemento con sus adiciones es decir fibras de refuerzo y áridos, luego será trasladada por la manguera hacia la boquilla del equipo donde se combinará con el agua y aditivos, los que llega por una manguera de ½ pulg conectada a un tanque, finalmente todo es proyectado a la superficie usando energía neumática.

Este método no presenta mecanización avanzada, propio de actividades mineras convencionales, siendo los equipos empleados pequeños y de baja capacidad de producción aunque son ideales para secciones de pequeña dimensión debido a un versátil desplazamiento y ubicación cerca de la zona a estabilizar.

En vía seca la aplicación depende enteramente de las capacidades del operador, quien controla la dosificación de agua y aditivo adicionada a la mezcla así como la aplicación de esta al macizo rocoso, siendo responsable de la productividad de la labor a lanzar, dependiendo de su grado de adiestramiento.

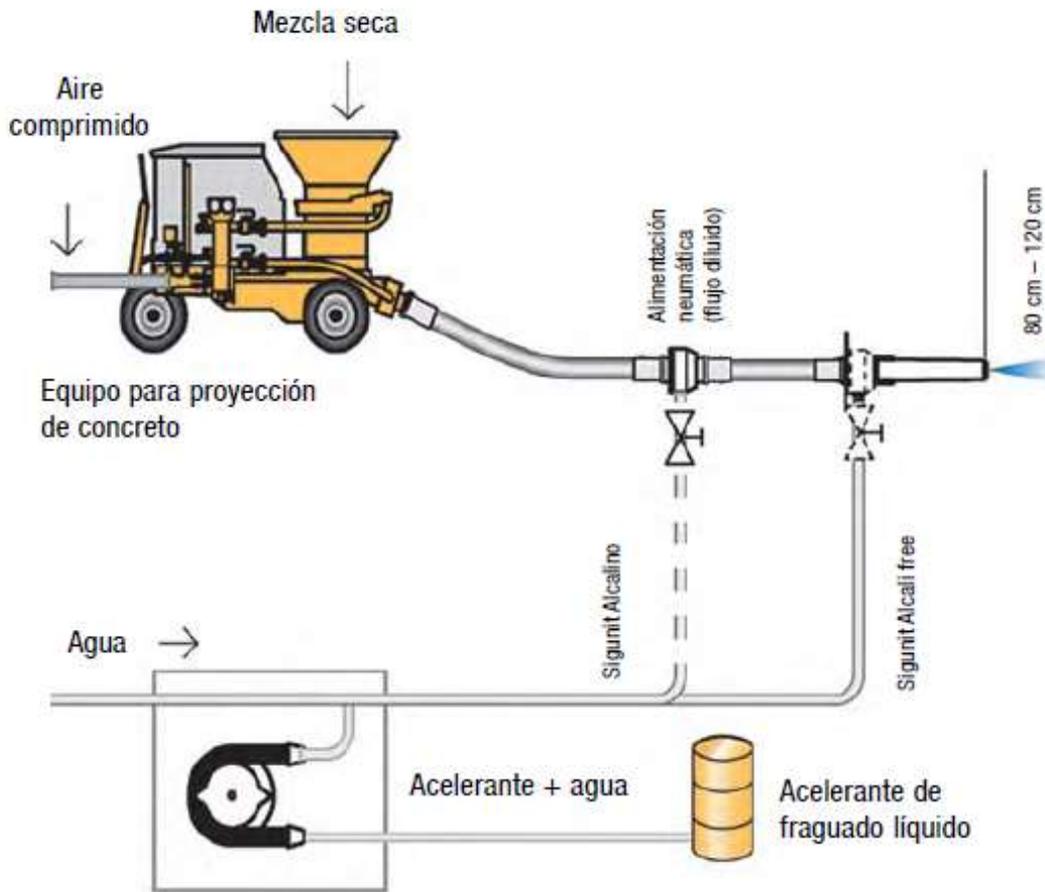
El proceso de aplicación produce altos niveles de rebote debido principalmente a mala ejecución de la actividad por parte del operador durante su aplicación en el macizo rocoso y/o condiciones operativas poco apropiadas para la labor (falta de energía, baja presión de aire, etc.)

4.1.2. SECUENCIA DEL LANZADO DE SHOTCRETE VÍA SECA

- Primero se mezcla la arena gradación II y el cemento Portland tipo 1 siguiendo las proporciones indicadas por la empresa minera, se va adicionando la fibra metálica con la proporción adecuada y se procede a realizar una mezcla mecánica de los componentes hasta obtener la homogeneidad deseada.
- La mezcla es alimentada en la Aliva.
- Accionado por la Aliva el alimentador hace fluir la mezcla hacia el rotor para luego ingresar a la manguera o boa de diámetro 2½”.
- Empleando energía neumática la mezcla es bombeada hacia la boquilla, la cual va equipada con un distribuidor múltiple perforado, el cual se encarga de pulverizar el agua a la salida de la boquilla y realiza la mezcla.
- La mezcla húmeda se proyecta a través de la boquilla hacia la superficie que debe sostenerse con shotcrete hasta cubrir los calibradores previamente colocados en el lugar de sostenimiento.

Para más detalle consultar con el ANEXO N° 03.

Ilustración 14: Secuencia de Aplicación Vía Seca.



Fuente: *Introducción A La Tecnología Básica De Concreto Proyectado - Jurgen Hofler*

4.1.3. PROPIEDADES DEL SHOTCRETE VÍA SECA

VENTAJAS

- Se puede interrumpir el proceso de lanzado en el momento que el operador lo decida sin tener pérdida de materiales.
- Se emplea equipo relativamente liviano que es operado manualmente.
- No se requiere mucho entrenamiento para operar el equipo Shotcretero por lo cual un operador bien entrenado dará resultados de calidad.
- Adecuado para uso en altura aplicación de líneas de descarga
- Adecuado para trabajos de reparación.

- Método óptimo para trabajos donde tengamos acceso difícil o reducido.

DESVENTAJAS:

- Relación de A/C controlada manualmente por el operador.
- Rebote muy elevado (20% - 40%).
- Al emplear fibra de refuerzo en ocasiones causa más rebote.
- Consumo alto de energía neumática.
- Nivel a considerar de generación de polvo.
- Capacidad baja de aplicación.

4.2.CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL SHOTCRETE

4.2.1. CONDICIONES GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO

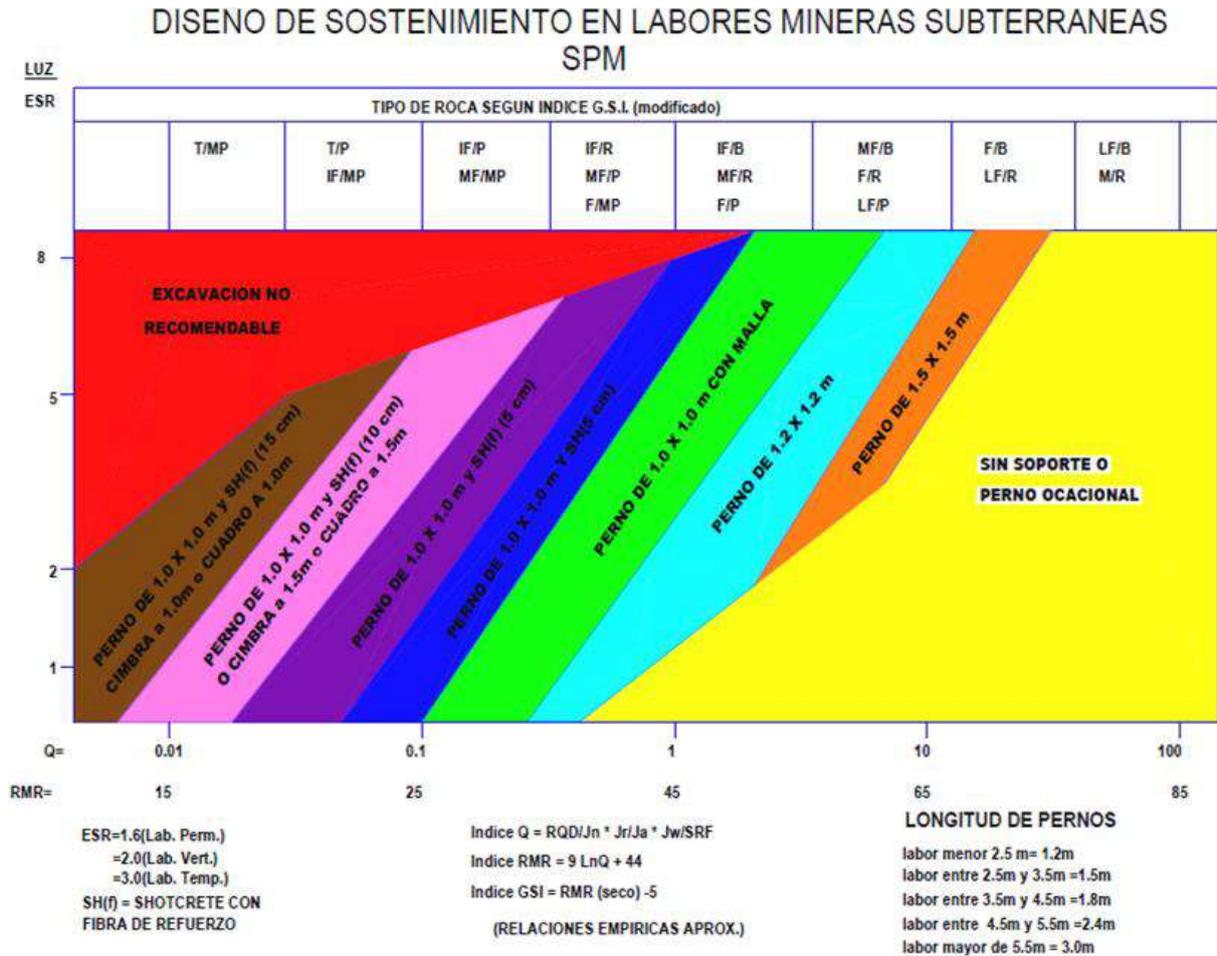
Se aplicara sostenimiento de shotcrete según la distribución planteada definida como **Roca tipo III:** De macizo rocoso cizallado o fracturado, meteorización moderada a completa, resistencia baja a media, presencia de fracturas abiertas y fallas rellenas con material arcilloso, milonita o roca triturada. Los valores de “Q” están entre 0.001 – 0.4 y RMR con valores menores a 40.

.Tabla 17: Clasificación de Roca Adoptada Para el Análisis Geomecanico

Clasificación de Roca adoptada		I	II	III
Valuación de la calidad de macizos rocosos – sistema de clasificación	Sistema “Q”	> 6	0.4 - 6.0	0.001 - 0.4
	Sistema ”RMR”	> 60	41 - 60	00 - 40

Fuente: CIA Minera Casapalca – Área Geomecánica

Ilustración 15: Diseño De Sostenimiento Según Tabla G.S.I



Fuente: Geomecánica CIA minera CASAPALCA

4.2.2. DISEÑO POR CONDICIONES DE RESISTENCIA

El uso previsto del shotcrete es lo que determina los requisitos de resistencia que este material debe alcanzar, esta resistencia varía de acuerdo a una función estructural o de acabado.

- **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

En la mayoría de los casos es ligeramente inferior a la de un shotcrete normal con granulometría de 30 mm, debido a los componentes finos del shotcrete proyectado.

Como dato estándar alcanza resistencias a compresión no inferiores a 300 kg/cm² a los 28 días. Sin embargo, una característica fundamental del shotcrete proyectado es la evolución

de resistencias en el tiempo por su contenido elevado de cemento, a los 12 meses 500 kg/cm² y a los 4 años 600 kg/cm². En ocasiones se ha reportado hasta 700 kg/cm².

Por el uso de aditivos acelerantes se puede obtener valores altos de resistencias a la compresión en base a mezcla de concreto prevista a los 28 días.

- **RESISTENCIA A LA TRACCIÓN**

La resistencia a la tracción tendrá una variación a los 28 días de 20.0 – 30.0 kg/cm² y a los 3 años de 30 – 55 kg/cm², la cual mejorara con el uso de fibra metálica.

4.2.3. DISEÑO POR CONDICIONES DE SERVICIO

El servicio describe la capacidad de la estructura para cumplir con la finalidad prevista para toda su vida útil, junto con la condición de resistencia, el diseño del shotcrete puede requerir ciertas condiciones de servicio, tales como límites de deflexiones, deformaciones por fluencia, acabado superficial y resistencia a la abrasión

4.2.4. DISEÑO POR CONDICIONES DE DURABILIDAD

La durabilidad describe la capacidad de una estructura de resistir las condiciones medioambientales que se presenten en su vida útil sin necesidad de un mantenimiento excesivo, estas condiciones pueden ser el ataque químico, la corrosión del refuerzo, etc.

Los requisitos de durabilidad del shotcrete se satisfacen mediante el control del diseño de mezclas, controlando la relación a/c.

4.2.5. DISEÑO POR OTROS REQUERIMIENTOS

Algunas aplicaciones del shotcrete incluyen consideraciones que no se detallan en las descritas anteriormente tales como, la bombeabilidad, el tiempo de trabajabilidad del concreto debido a las distancias de la planta del concreto al lugar de proyección, condiciones medioambientales, resistencias iniciales para la puesta en servicio, etc.

4.3. DISEÑO DE MEZCLAS PLANTEADO

El diseño de las mezcla de concreto proyectado debe siempre adaptarse a las especificaciones del agregado y del cemento disponible para poder obtener la resistencia inicial y la manejabilidad requeridas.

Los ensayos preliminares en el laboratorio hacen más fáciles las operaciones en obra.

El tipo del cemento tiene una fuerte influencia en el desarrollo tanto de la resistencia inicial como de la final y en las propiedades del concreto endurecido.

Las fibras de acero incrementan la capacidad de carga y las propiedades de ductilidad del concreto proyectado.

El tamaño máximo del agregado depende del espesor de capa y del acabado de la superficie requerida del concreto proyectado.

Se considera que si la mezcla cuenta sólo con agregados finos se denominara mortero lanzado y si contara con agregado grueso se denominara concreto lanzado.

Caso Casapalca se toma en cuenta un diseño de mezcla para una humedad promedio de 5 a 6 %, considerando una resistencia mínima de 210 kg/cm² en la cual se empleara las cantidades mencionadas en la *tabla 18* para un metro cubico de mezcla para lanzar.

Tabla 18: diseño de mezcla vía seca teórica

DISEÑO DE MEZCLA VÍA SECA		
DOSIFICACIÓN POR METRO CUBICO, PARA SHOTCRETE DE 210 KG/CM ²		
humedad de 5-6%		
Insumo	Cantidad	Observaciones
Cemento	425 kg	Tipo I
Arena gradación 2	1675 kg	Granulometría II
Fibra metálica	20 - 30 kg	suelta
Aditivo acelerante de fraguado	2.0 - 3.0 Gal	Agilizar fragua
Agua	160 – 200 Lt.	regulable

Fuente: geomecánica CIA minera CASAPALCA

Cada componente de la mezcla posee su peso específico determinado por su clasificación, tipo o marca en el mercado, dichos datos se muestran en la *tabla 19*.

Tabla 19: pesos específicos materiales componentes de mezcla

PESO ESPECÍFICOS DE LOS MATERIALES		
Ítem	Kg/m ³	Producto
Cemento	3100	Andino Tipo I
Agua	1000	Corriente
Aditivo acelerante	1470	Sigunit
Arena	2590	Cantera
Fibra de acero	7850	Dramix,

Fuente: geomecánica CIA minera CASAPALCA

Para estandarizar la mezcla se considera el promedio de la proporción del aditivo y la dosificación de agua brindada por el área de geomecánica, obteniéndose un valor teórico de los componentes de la mezcla, adicionalmente observándose la presencia de aire en la mezcla obtenido de la diferencia a un metro cubico de mezcla tal como se observa en la *tabla 20*.

Tabla 20: volumen de los materiales componentes de la mezcla

CALCULO DE VOLUMEN DE LOS MATERIALES		
Ítem	Peso (kgs)	Volumen (m ³)
Cemento	425	0.1371
Agua	175.3	0.1753
Aditivo Acelerante	13.91 (2.5 Gal)	0.0095
Arena	1675	0.6467
Fibra de acero	20	0.0025
Aire		0.0289
VOLUMEN TOTAL		1

Fuente: geomecánica CIA minera CASAPALCA

4.4. PREPARACIÓN DE MEZCLA

Caso práctico en el terreno se realizara de tal forma que el maestro y los ayudantes puedan obtener una proporción aproximada de la mezcla para dicho caso se usara la medición directa mediante lampadas tal como se indica en la *tabla 21*, para una tanda (1 m³).

Tabla 21: materiales de la mezcla en el terreno

CALCULO DE MATERIALES EN TERRENO	
Aditivo acelerante	2.5 GlS
	9.5 Lts
cemento	
Tandas por metro cubico (bls /m3)	10
arena	
Cálculo Volumen de Arena	0.6467
Peso unitario suelto (kg/m3)	1596.9
Volumen de agregado suelto (m3)	1.825
Pies cúbicos (pie3/m3)	35.314
Pies cúbicos por tanda (pie3/bls)	2.295
Número lampadas por pie cúbico	7
Número lampadas por tanda	16
Nota: 1 tanda de arena es para 1 bolsa de cemento equivalente una tanda a 167.5 Kg	

Fuente: geomecánica CIA minera CASAPALCA

Se realiza el mezclado de las proporciones indicadas es decir, 10 bolsas de cemento equivalente a 425 Kgs, se hará el mezclado con arena de granulometría II y fibra metálica Dramix entre 20 y 30 kilogramos, se realizara una mezcla mecánica hasta obtener una mezcla homogénea.

Es acelerante es incorporado por un dosificador, mediante mangueras conectadas por separado, hasta la boquilla. La dosificación se sincroniza con la cantidad de concreto, de manera tal que el acelerante de fraguado se agregue constantemente.

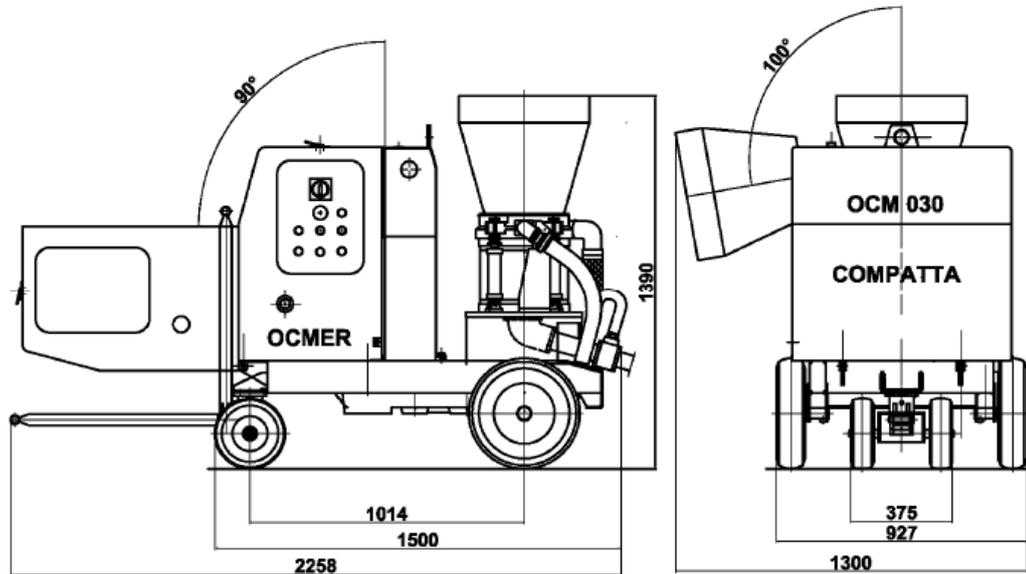
4.5. FACTORES OPERATIVOS

4.5.1. EQUIPOS PROYECTORES DE CONCRETO

➤ OCMER – 030 COMPATTA

La OCMER - 030 COMPATTA es un equipo de rotor para proyección por vía seca de gunita, hormigones y mezclas refractarias. El principio de funcionamiento de rotor.

Ilustración 16: Dimensiones De Maquina Lanzadora Ocmer – 030



Fuente: Ocmer Co S.R.L

Tabla 22: Especificaciones De Ocmer – 030

CAPACIDAD DE LOS ROTORES EN LITROS	PRODUCCION TEORICA EN M ³ /h (1)	DIÁMETRO DE LA TUBERÍA EN mm	GRANULOMETRIA MAXIMA EN mm	DISTANCIAS MAXIMAS EN Mt		CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO M ³ /m A 4-6 BARES
				HORIZ./VERT.		
1,8	1,51	25X40	8	500/100		2-4
		32X48	10	500/100		3-5
3,2	2,69	32X48	10	500/100		3-6
		40X60	13	500/100		4-7
3,4	2,86	32X48	10	500/100		3-6
		40X60	13	500/100		4-7
5	4,20	40X60	13	500/100		5-8
		50X70	16	500/100		6-10
6	5,04	50X70	16	500/100		6-12

(1) A CONDICIÓN QUE LA HABITACIÓN ESTÁ COMPLETAMENTE VACÍA Y SE LLENA HASTA

Fuente: Ocmer Co S.R.L

Además posee adicionalmente las siguientes características:

- Peso del equipo: 560 – 720 kg
- Motor eléctrico de dos velocidades de 3.5 y 5.5 HP a 50 Hz
- Motor principal de 9 Hp
- Motor hidráulico de 4 HP
- Consumo de aire de hasta 8000 litros por minuto a 6- 7 bares

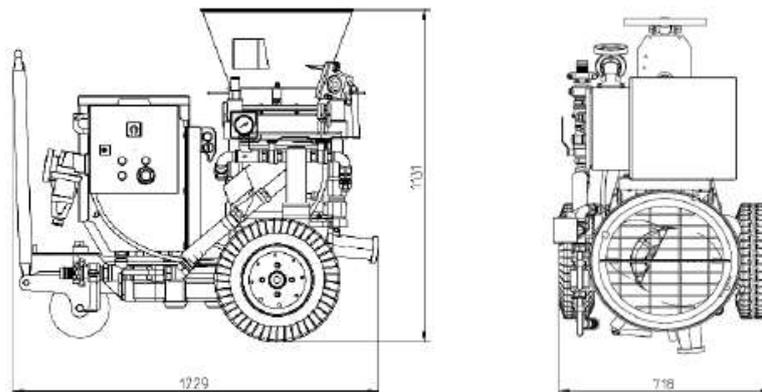
➤ **ALIVA 237**

Ilustración 17: Aliva - 237



Fuente: Technical Data Sheet

Ilustración 18: Dimensiones De Maquina Lanzadora Aliva - 237



Length L	
STANDARD / AIR	1229 mm
TOP	1229 mm
Width	718 mm
Height H	
with rotor 0,7 + 2,0 L	980 mm
with rotor 3,6 L	1050 mm
with rotor 5,6 L	1130 mm
Weight	
STANDARD / AIR	approx. 320 kg
TOP	approx. 450 kg
Content of hopper	40 liters

Fuente: Technical Data Sheet

Ilustración 19: Especificaciones Eléctricas Aliva - 237

Electric (STANDARD / TOP)

Motor output	2,2 kW
Speed range	
STANDARD	50Hz1500 rpm 60Hz1800 rpm
TOP	700–1800 rpm
Voltages	
STANDARD	380-415 V 50 Hz 400/440 V 60 Hz
TOP	380-480 V 50/60 Hz
Protection	IP 55 / IP 65 (FC)

Fuente: Technical Data Sheet

Tabla 23: Especificaciones Técnicas Aliva - 237

Rotor L	Hose Ø mm	Conveying output *m³/h		max. grain mm	max. conveying distance (m) horizontal / vertical
		STANDARD	TOP		
0,7	32	0,4	0,2-0,5	6	150/60 m**
2,0	32 + 38	1,1	0,6-1,4	12	
3,6	32 + 38	2,0	1,1-2,5	12	
5,6	50	3,2	1,7-4,0	16	

Fuente: Technical Data Sheet

4.5.2. PERSONAL

Para poder realizar la actividad según procedimiento se deberá tener en cuenta:

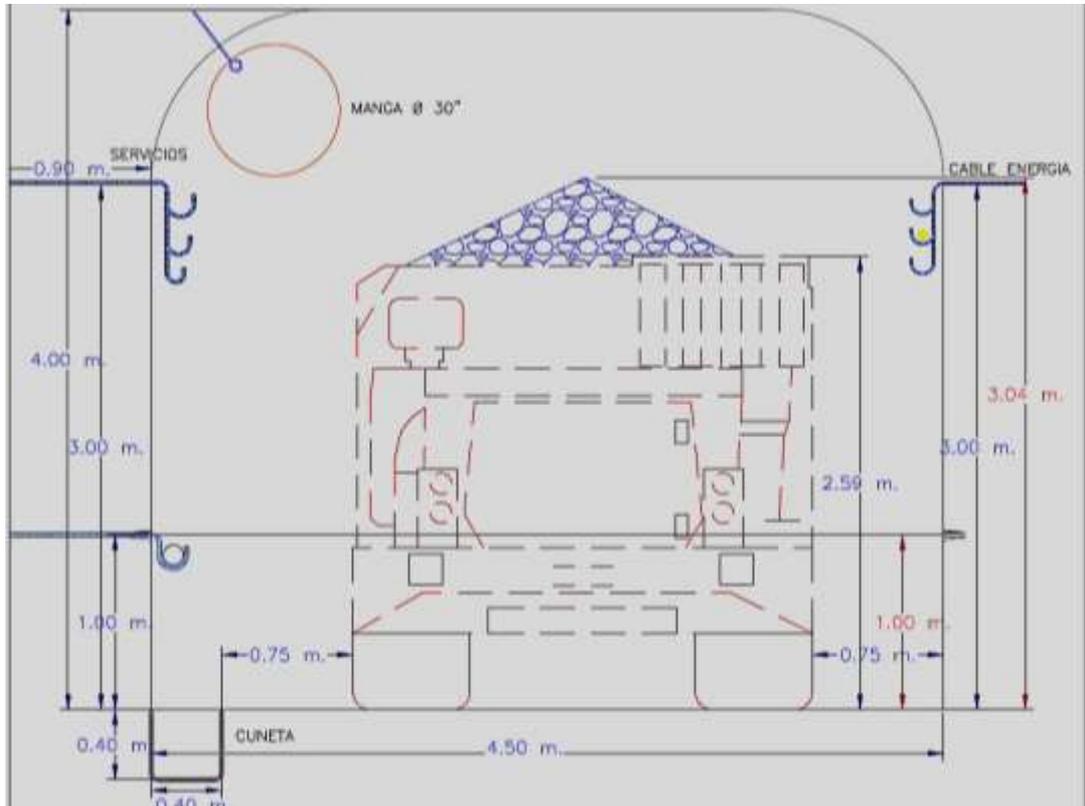
- 1 Maestro shotcrete
- 4 Ayudante shotcrete
- 1 Bodeguero
- 1 Capataz
- 1 Ing. De Guardia

Los cuales deberán estar debidamente capacitados en el lanzamiento con shotcrete en interior mina para poder así realizar la actividad planteada con la seguridad respectiva, cumpliendo los requerimientos de la labor.

4.5.3. CONDICIÓN DE LA LABOR

- Sección: Se establecerá la sección de 4 m x 4.5 m como estándar para el lanzado de shotcrete. (ANEXO N° 03)

Ilustración 20: Sección De Labor Cia Minera Casapalca Sección Cuerpos



Fuente: Cia Minera Casapalca

- Presencia de plegamientos y rugosidad en el terreno.
- Roca tipo III y Tipo II con RMR de 0 a 40 y de 40 a 60 respectivamente.
- Presencia de Agua siendo esta nula en los niveles más superficiales, mínima en la zona intermedia y considerable en la zona de profundización.

4.5.4. RENDIMIENTO

4.5.4.1. PRODUCCIÓN

Elegimos la actividad realizada en la zona cuerpos en el mes de octubre debido a que se obtuvo la mayor producción en este mes, en el año de análisis, mostrándose en la *tabla 24*.

Tabla 24: Reporte De Operaciones Lanzado De Shotcrete Octubre

Fecha	Turno	Supervisor	Labor	Nivel	Maquina	Material Utilizado				Avance	
						Cemento Bolsas	Shotcrete / M3	Fibra MET / Kg	Aditivo / Gls	M 2 / L	M 3 / M
01/10/2015	Día	Ccora	Xc. 131	435	Aliva 1	45	4.5	90	11.25	45	4.5
01/10/2015	Día	Ccora	Rp. 850	3A	Ocmer	25	2.5	50	6.25	25	2.5
01/10/2015	Noche	Guere	Rp. 850	3A	Ocmer	35	3.5	70	8.75	35	3.5
01/10/2015	Noche	Guere	Xc. 393	4500	Aliva 1	25	2.5	50	6.25	25	2.5
02/10/2015	Día	Ccora	Xc. 393	4500	Aliva 1	45	4.5	90	11.25	45	4.5
02/10/2015	Día	Ccora	Rp. 850	3A	Ocmer	48	4.8	96	12	48	4.8
02/10/2015	Noche	Guere	Xc. 393	4500	Aliva 1	40	4.0	80	10	40	4.0
02/10/2015	Noche	Guere	Rp. 850	3A	Ocmer	40	4.0	80	10	40	4.0
03/10/2015	Día	Ccora	Xc. 393	4500	Aliva 1	50	5.0	100	12.5	50	5.0
03/10/2015	Día	Ccora	Rp. 850	3A	Ocmer	50	5.0	100	12.5	50	5.0
03/10/2015	Noche	Guere	Rp. 850	3A	Aliva 1	35	3.5	70	8.75	35	3.5
05/10/2015	Día	Guere	Xc. 131	435	Aliva 1	55	5.5	110	13.75	55	5.5
05/10/2015	Día	Guere	Vent. 1 TJ. 470	11	Ocmer	20	2.0	40	5	20	2.0
05/10/2015	Noche	Zevallos	Xc. 131	435	Aliva 1	50	5.0	100	12.5	50	5.0
05/10/2015	Noche	Zevallos	Vent. 1 TJ. 470	11	Ocmer	30	3.0	60	7.5	30	3.0
06/10/2015	Día	Guere	Xc. 131	435	Aliva 1	30	3.0	60	7.5	30	3.0
06/10/2015	Noche	Zevallos	Xc. 158	435	Aliva 1	10	1.0	20	2.5	10	1.0
07/10/2015	Día	Guere	Xc. 158	435	Aliva 1	45	4.5	90	11.25	45	4.5
07/10/2015	Día	Guere	GL. 825	900A	Ocmer	35	3.5	70	8.75	35	3.5
07/10/2015	Noche	Zevallos	Xc. 158	435	Aliva 1	40	4.0	80	10	40	4.0
07/10/2015	Noche	Zevallos	GL. 825	900A	Ocmer	50	5.0	100	12.5	50	5.0
08/10/2015	Día	Ccora	Rp. 097	435	Aliva 1	20	2.0	40	5	20	2.0
08/10/2015	Noche	Zevallos	Rp. 097	435	Aliva 1	40	4.0	80	10	40	4.0
08/10/2015	Noche	Zevallos	GL. 825	900A	Ocmer	10	1.0	20	2.5	10	1.0
09/10/2015	Día	Ccora	Rp. 097	435	Aliva 1	40	4.0	80	10	40	4.0
09/10/2015	Día	Ccora	Rp. 808	4	Ocmer	45	4.5	90	11.25	45	4.5
09/10/2015	Noche	Zevallos	Rp. 097	435	Aliva 1	45	4.5	90	11.25	45	4.5
09/10/2015	Noche	Zevallos	Rp. 808	4	Ocmer	40	4.0	80	10	40	4.0
10/10/2015	Día	Ccora	Xc. 158	435	Aliva 1	50	5.0	100	12.5	50	5.0
10/10/2015	Noche	Zevallos	Xc. 158	435	Aliva 1	40	4.0	80	10	40	4.0
10/10/2015	Noche	Zevallos	Rp. 823	800	Ocmer	40	4.0	80	10	40	4.0
12/10/2015	Día	Zevallos	Rp. 823	800	Ocmer	10	1.0	20	2.5	10	1.0
12/10/2015	Noche	Cabrera	Xc. 823	800	Ocmer	50	5.0	100	12.5	50	5.0
13/10/2015	Día	Zevallos	Rp. 097	435	Aliva 1	35	3.5	70	8.75	35	3.5
13/10/2015	Día	Zevallos	Xc. 823	800	Ocmer	35	3.5	70	8.75	35	3.5
13/10/2015	Noche	Cabrera	Rp. 097	435	Aliva 1	70	7.0	140	17.5	70	7.0
14/10/2015	Día	Zevallos	Rp. 097	435	Aliva 1	50	5.0	100	12.5	50	5.0
14/10/2015	Día	Zevallos	Xc. 823	800	Ocmer	30	3.0	60	7.5	30	3.0
14/10/2015	Noche	Cabrera	Rp. 097	435	Aliva 1	35	3.5	70	8.75	35	3.5
14/10/2015	Noche	Cabrera	Xc. 823	800	Ocmer	30	3.0	60	7.5	30	3.0
15/10/2015	Día	Zevallos	Rp. 097	435	Aliva 1	30	3.0	60	7.5	30	3.0
15/10/2015	Día	Zevallos	Xc. 823	800	Ocmer	45	4.5	90	11.25	45	4.5
15/10/2015	Noche	Cabrera	Xc. 278	435	Aliva 1	45	4.5	90	11.25	45	4.5
15/10/2015	Noche	Cabrera	Xc. 823	800	Ocmer	45	4.5	90	11.25	45	4.5
16/10/2015	Día	Zevallos	Xc. 278	435	Aliva 1	50	5.0	100	12.5	50	5.0
16/10/2015	Día	Zevallos	Xc. 823	800	Ocmer	50	5.0	100	12.5	50	5.0

16/10/2015	Noche	Cabrera	Xc. 278	435	Aliva 1	35	3.5	70	8.75	35	3.5
16/10/2015	Noche	Cabrera	Xc. 823	800	Ocmer	50	5.0	100	12.5	50	5.0
17/10/2015	Día	Zevallos	Xc. 278	435	Aliva 1	20	2.0	40	5	20	2.0
17/10/2015	Día	Zevallos	Xc. 823	800	Ocmer	40	4.0	80	10	40	4.0
17/10/2015	Noche	Cabrera	Xc. 823	800	Ocmer	35	3.5	70	8.75	35	3.5
19/10/2015	Día	Cabrera	Rp. 097	435	Aliva 1	30	3.0	60	7.5	30	3.0
19/10/2015	Día	Cabrera	GL. 825	900A	Ocmer	20	2.0	40	5	20	2.0
19/10/2015	Noche	Zevallos	Rp. 097	435	Aliva 1	50	5.0	100	12.5	50	5.0
19/10/2015	Noche	Zevallos	GL. 825	900A	Ocmer	37	3.7	74	9.25	37	3.7
20/10/2015	Día	Cabrera	Rp. 097	435	Aliva 1	35	3.5	70	8.75	35	3.5
20/10/2015	Día	Cabrera	GL. 825	900A	Ocmer	30	3.0	60	7.5	30	3.0
21/10/2015	Día	Cabrera	Rp. 850	3A	Ocmer	40	4.0	80	10	40	4.0
21/10/2015	Noche	Zevallos	Rp. 850	3A	Ocmer	40	4.0	80	10	40	4.0
22/10/2015	Día	Cabrera	Rp. 850	3A	Ocmer	20	2.0	40	5	20	2.0
22/10/2015	Noche	Zevallos	Xc. 172	435	Aliva 1	20	2.0	40	5	20	2.0
22/10/2015	Noche	Zevallos	Rp. 850	3A	Ocmer	30	3.0	60	7.5	30	3.0
23/10/2015	Día	Ccora	Xc. 172	435	Aliva 1	50	5.0	100	12.5	50	5.0
23/10/2015	Día	Ccora	Rp. 850	3A	Ocmer	45	4.5	90	11.25	45	4.5
23/10/2015	Noche	Zevallos	Xc. 172	435	Aliva 1	62	6.2	124	15.5	62	6.2
23/10/2015	Noche	Zevallos	GL. 655	6	Ocmer	30	3.0	60	7.5	30	3.0
24/10/2015	Día	Ccora	Xc. 172	435	Aliva 1	50	5.0	100	12.5	50	5.0
24/10/2015	Día	Ccora	GL. 655	6	Ocmer	55	5.5	110	13.75	55	5.5
24/10/2015	Noche	Zevallos	Xc. 172	435	Aliva 1	30	3.0	60	7.5	30	3.0
24/10/2015	Noche	Zevallos	GL. 655	6	Ocmer	35	3.5	70	8.75	35	3.5
26/10/2015	Noche	Ccora	Xc. 278	435	Aliva 1	42	4.2	84	10.5	42	4.2
26/10/2015	Noche	Ccora	Xc. 720	6	Ocmer	45	4.5	90	11.25	45	4.5
27/10/2015	Día	Zevallos	Xc. 278	435	Aliva 1	40	4.0	80	10	40	4.0
27/10/2015	Día	Zevallos	Xc. 720	6	Ocmer	50	5.0	100	12.5	50	5.0
27/10/2015	Noche	Ccora	Xc. 278	435	Aliva 1	45	4.5	90	11.25	45	4.5
27/10/2015	Noche	Ccora	Xc. 720	6	Ocmer	45	4.5	90	11.25	45	4.5
28/10/2015	Día	Zevallos	Rp. 097	435	Aliva 1	20	2.0	40	5	20	2.0
28/10/2015	Día	Zevallos	Rp. 850	3A	Ocmer	20	2.0	40	5	20	2.0
28/10/2015	Noche	Ccora	Rp. 097	435	Aliva 1	40	4.0	80	10	40	4.0
28/10/2015	Noche	Ccora	Rp. 850	3A	Ocmer	50	5.0	100	12.5	50	5.0
29/10/2015	Día	Zevallos	Rp. 097	435	Aliva 1	40	4.0	80	10	40	4.0
29/10/2015	Día	Zevallos	Rp. 850	3A	Ocmer	30	3.0	60	7.5	30	3.0
29/10/2015	Noche	Ccora	Rp. 097	435	Aliva 1	50	5.0	100	12.5	50	5.0
29/10/2015	Noche	Ccora	Rp. 850	3A	Ocmer	55	5.5	110	13.75	55	5.5
30/10/2015	Día	Zevallos	Rp. 097	435	Aliva 1	50	5.0	100	12.5	50	5.0
30/10/2015	Día	Zevallos	Rp. 850	3A	Ocmer	30	3.0	60	7.5	30	3.0
30/10/2015	Noche	Zevallos	Rp. 097	435	Aliva 1	40	4.0	80	10	40	4.0
30/10/2015	Noche	Zevallos	Rp. 850	3A	Ocmer	50	5.0	100	12.5	50	5.0
31/10/2015	Día	Ccora	Rp. 097	435	Aliva 1	40	4.0	80	10	40	4.0
31/10/2015	Día	Ccora	Rp. 850	3A	Ocmer	45	4.5	90	11.25	45	4.5
31/10/2015	Noche	Cabrera	Rp. 097	435	Aliva 1	45	4.5	90	11.25	45	4.5
31/10/2015	Noche	Cabrera	Rp. 850	3A	Ocmer	30	3.0	60	7.5	30	3.0
Total						3574.0	357.4	7148.0	893.5	3574.0	357.4

Fuente: Productividad Cía. Minera Casapalca

Tomaremos de la *tabla 24* valores referenciales de producción del shotcrete para una tarea típica en este caso una guardia, donde en promedio para dicho periodo de análisis se tendrá 4 m³, adicionalmente se detalla el uso de los componentes de la mezcla de shotcrete, fibra metálica, aditivo y cemento, lo cual como antecedente para la evaluación del desempeño de los equipos empleados.

Tabla 25: reporte de operaciones lanzado de shotcrete mensual

FECHA	ZONA	MATERIAL UTILIZADO				AVANCE	
		CEMENTO BOLSAS	SHOTCRETE / M3	FIBRA MET / Kg	ADITIVO / Gl	M 2 / L	M 3 / M
ene-15	CUERPOS	2980	298.0	5960	745	2980	298.0
feb-15	CUERPOS	3045	304.5	6090	761.25	3045	304.5
mar-15	CUERPOS	3050	305.0	6100	762.5	3050	305.0
abr-15	CUERPOS	2780	278.0	5560	695	2780	278.0
may-15	CUERPOS	3090	309.0	6180	772.5	3090	309.0
jun-15	CUERPOS	2940	294.0	5880	735	2940	294.0
jul-15	CUERPOS	2403	240.3	4806	600.75	2403	240.3
ago-15	CUERPOS	3180	318.0	6360	795	3180	318.0
sep-15	CUERPOS	2950	295.0	5900	737.5	2950	295.0
oct-15	CUERPOS	3570	357.0	7140	892.5	3570	357.0
nov-15	CUERPOS	2760	276.0	5520	690	2760	276.0
dic-15	CUERPOS	2580	258.0	5160	645	2580	258.0
ene-16	CUERPOS	2810	281.0	5620	702.5	2810	281.0

Fuente: Productividad Cía. Minera Casapalca

En la *tabla 25* se puede observar el extracto de la producción obtenida en el año 2015, año que utilizamos como dato historio y muestra para el análisis de la producción de shotcrete en la zona cuerpos Cia Minera Casapalca.

4.6. FACTORES ECONÓMICOS

Tendremos en cuenta el análisis de precios para el lanzado de shotcrete vía seca en las diferentes labores de la sección cuerpos zona alta donde se especificara los puntos más importantes para dicho análisis siendo estos, el personal, materiales, implementos, herramientas, equipos a emplear entre otros, lo cual se muestra en la *tabla 26* y *tabla 27*.

✓ PRECIO UNITARIO PARA 2”

Tabla 26: Precio Unitario Shotcrete vía seca 2''

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Shotcrete de 2''						
Labor	Convencional					
Equipo	OCMER y ALIVA				SHOTCRETEADO	4.73 m3.
Factor	1.00	Gdía.			TOTAL SHOTCRETEADO	47.25 m2.
					S/. /m2	92.68
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Utilización/Vida Útil	Costo/Disparo	Costo/m
PERSONAL						
Operador de Shotcrete	Tarea	2.00	13.96	8.00	223.38	
Ayudante de Shotcrete	Tarea	3.00	13.96	8.00	335.06	
Operador de Scoop	Tarea	1.00	18.55	2.00	37.10	
Jefe de Guardia	Tarea	1.00	32.97	3.67	120.89	
Supervisor de Mina	Tarea	1.00	10.28	2.67	27.42	
Electricista Equipos Mina	Tarea	1.00	16.85	1.00	16.85	
Mecánico Equipos Mina	Tarea	1.00	16.80	2.67	44.81	
Maestro de Ventilación	Tarea	1.00	13.96	0.50	6.98	
Ayudante de Ventilación	Tarea	1.00	13.96	0.50	6.98	
Bodeguero	Tarea	1.00	13.96	0.25	3.49	
Alimentación					74.55	
					897.51	18.99
PERFORACIÓN						
Barra Cónica 6		1.00	0.16	47.25 Pies	7.76	
Broca Descartable 6		1.00	0.17	47.25 Pies	8.17	
Aceite Perforación		1.00	25.11	660.00 Pies	1.80	
					17.73	0.38
MATERIALES						
Cemento	bolsa	10.00	15.23	1.00	719.62	
Arena	m3	1.00	23.00	1.00	108.68	
Fibra	kg	20.00	4.79	1.00	452.66	
Aditivos	gal	2.50	13.87	1.00	163.84	
Calibradores	Uni.	10.00	1.63	1.00	77.02	
					1,521.80	32.21
HERRAMIENTAS						
Lampa	pza	1.00	14.67	40.00 Tar.	0.37	
Pico	pza	1.00	17.00	90.00 Tar.	0.19	
Llave Francesa 12"	pza	2.00	32.47	175.00 Tar.	0.37	
Comba de 12 libras	pza	1.00	34.00	250.00 Tar.	0.14	
Barretilla 4'	pza	1.00	4.96	30.00 Tar.	0.17	
Barretilla 6'	pza	1.00	4.96	30.00 Tar.	0.17	
Barretilla de aluminio de 1" x 10'	pza	2.00	56.65	75.00 Tar.	1.51	
Barretilla de aluminio de 1" x 8'	pza	2.00	44.68	75.00 Tar.	1.19	
Flexometro	pza	1.00	11.48	60.00 Gdía	0.19	
					4.29	0.09
IMPLEMENTOS						
Global x Guardia	Gdía	6.66	5.11		33.99	
					33.99	0.72
MAQUINARIA Y EQUIPO						
Ocmer / Aliva 237	hora	1.00	53.83	5.00 hora	269.15	
Scoop 2.0 yd3	hora	1.00	234.26	2.00 hora	468.52	
					737.68	15.61
SUB-TOTAL						68.00
GASTOS GENERALES 0.25						17.00
UTILIDAD 0.15						10.20
PRECIO UNITARIO/ m2 (ESPESOR = 2 PULGADAS)						95.20

Fuente: Cia Minera Casapalca

✓ PRECIO UNITARIO PARA 3 “

Tabla 27: Precio Unitario Shotcrete vía seca 3”

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
Shotcrete de 3”							
Labor	Convencional				SHOTCRETEADO	4.73	m3.
Equipo	OCMER y ALIVA				TOTAL	33.08	m2.
Factor	1.00	Gdía.			SHOTCRETEADO		
						S/. /m2	132.25
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Utilización/Vida Útil		Costo/Disparo	Costo/m
PERSONAL							
Operador de Shotcrete	Tarea	2.00	13.96	8.00		223.38	
Ayudante de Shotcrete	Tarea	3.00	13.96	8.00		335.06	
Operador de Scoop	Tarea	1.00	18.55	2.00		37.10	
Jefe de Guardia	Tarea	1.00	32.97	3.67		120.89	
Supervisor de Mina	Tarea	1.00	10.28	2.67		27.42	
Electricista Equipos Mina	Tarea	1.00	16.85	1.00		16.85	
Mecánico Equipos Mina	Tarea	1.00	16.80	2.67		44.81	
Maestro de Ventilación	Tarea	1.00	13.96	0.50		6.98	
Ayudante de Ventilación	Tarea	1.00	13.96	0.50		6.98	
Bodeguero	Tarea	1.00	13.96	0.25		3.49	
Alimentación						74.55	
						897.51	27.14
PERFORACIÓN							
Barra Cónica 6		1.00	0.16	47.25	Pies	7.76	
Broca Descartable 6		1.00	0.17	47.25	Pies	8.17	
Aceite Perforación		1.00	25.11	660.00	Pies	1.26	
						12.41	0.52
MATERIALES							
Cemento	bolsa	10.00	15.23	1.00	m3	719.62	
Arena	m3	1.00	23.00	1.00	m3	108.68	
Fibra	kg	20.00	3.89	1.00	m3	452.66	
Aditivos	gal	2.50	13.87	1.00	m3	163.84	
Calibradores	Uni.	10.00	1.63	1.00	m3	77.02	
						1521.80	46.01
HERRAMIENTAS							
Lampa	pza	1.00	14.67	40.00	Tar.	0.37	
Pico	pza	1.00	17.00	90.00	Tar.	0.19	
Llave Francesa 12”	pza	2.00	32.47	175.00	Tar.	0.37	
Comba de 12 libras	pza	1.00	34.00	250.00	Tar.	0.14	
Barretilla 4’	pza	1.00	4.96	30.00	Tar.	0.17	
Barretilla 6’	pza	1.00	4.96	30.00	Tar.	0.17	
Barretilla de aluminio de 1” x 10’.	pza	2.00	56.65	75.00	Tar.	1.51	
Barretilla de aluminio de 1” x 8’.	pza	2.00	44.68	75.00	Tar.	1.19	
Flexometro	pza	1.00	11.48	60.00	Gdía	0.19	
						4.29	0.13
IMPLEMENTOS							
Global x Guardia	Gdía	6.66	5.11			33.99	
						33.99	1.03
MAQUINARIA Y EQUIPO							
Ocmer / Aliva 237	hora	1.00	53.96	5.00	hora	269.82	
Scoop 2.0 yd3	hora	1.00	234.84	2.00	hora	469.68	
						739.50	22.36
SUB-TOTAL							97.18
GASTOS GENERALES 25.0%							24.30
UTILIDAD 15.0%							14.58
PRECIO UNITARIO/ m2 (ESPESOR = 3 PULGADAS)							136.05

Fuente: Cia Minera Casapalca

De la *tabla 26* y *tabla 27* se establece el desarrollo de la actividad, lanzado de shotcrete tomando en cuenta parámetros que influyen directamente en los costos siendo estos:

- ✓ **Personal:** compuesta por un capataz, un jefe de guardia, un operador de la maquina shotcretera y 4 ayudantes, los cuales estarán directamente relacionados a la actividad, adicionalmente se tendrá participantes indirectos que realizarían actividades afines al shotcrete para facilitar la operación de dicha actividad, estos serán el electricista, mecánico, técnico y ayudante de ventilación, bodeguero y operador de Scoop, en conjunto representa ***18.99 soles por metro cuadrado*** para 2” y ***27.14 soles por metro cuadrado*** para 3”.
- ✓ **Perforación:** esta actividad contemplara casos en los cuales se requiera obtener la sección establecida, por ello solo representa ***0.38 soles por metro cuadrado*** 2” y ***0.52 soles por metro cuadrado*** para 3”.
- ✓ **Materiales:** los componentes de la mezcla representan el mayor costo en el análisis del precio unitario, contemplando cemento, arena, fibra, aditivo y calibradores dando un total de ***32.21 soles por metro cuadrado*** 2” y ***46.01 soles por metro cuadrado*** para 3”.
- ✓ **Herramientas:** puesto que el método de sostenimiento por vía seca es manual se requerirá una serie de herramientas para el traslado e instalación del equipo además herramientas para la preparación de la mezcla y la correspondiente alimentación de lo cual nos dará un costo de ***0.09 soles por metro cuadrado*** 2” y ***0.13 soles por metro cuadrado*** para 3”.
- ✓ **Implementos:** para este caso se refiere principalmente a todo el equipo de protección personal empleado por los involucrados en la labor dándonos un costo de ***0.72 soles por metro cuadrado*** 2” y ***1.03 soles por metro cuadrado*** para 3”.
- ✓ **Maquinaria y equipo:** será únicamente la maquina shotcretera para realizar el lanzado y el Scoop de 2 yd³ para el traslado del equipo de labor a labor dándonos un costo de ***15.61 soles por metro cuadrado*** 2” y ***21.36 soles por metro cuadrado*** para 3”.

Se contemplara los gastos generales 25% y una utilidad del 15%, dándonos así ***95.20 soles por metro cuadrado*** 2” y ***136.05 soles por metro cuadrado*** para 3” como P.U.

4.6.1. REBOTE

Para el cálculo de rebote en Cia minera Casapalca se realizó un ensayo controlado con materiales preparados para dos metros cúbicos, lo cual incluye 20 bolsas de cemento, 40 kilogramos de fibra metálica, 5 galones de aditivo acelerante, 3350 kilogramos de arena granulometría II, calibradores y agua.

Se procedió a realizar la mezcla mecánica, obteniéndose 2 m³ en seco, se procedió a colocar los calibradores para un espesor de 2", al lanzar se realizó el metraje por parte del área geomecánica obteniéndose los siguientes datos:

- ✓ Se rellenó un espacio cóncavo desnivelado en la caja de la labor con 0.26 m³
- ✓ Se tuvo un rebote aproximado de 0.48 m³ y una merma provocada por el desprendimiento de la mezcla de aproximadamente 0.12 m³.
- ✓ Se pudo metrar el lanzado de shotcrete en aproximadamente 7 metros cuadrados lo cual significaría 0.71 m³ de mezcla pegada de 2" de espesor.
- ✓ Sumando el volumen hidratado se obtiene 1.57 m³ de shotcrete lo cual se redujo por el grado de esponjamiento de la mezcla en seco, obteniéndose un grado de compactación de 21.5 %.

Tabla 28: Ensayo De Rebote

ESPECIFICACIÓN	V. SECO M3	V. HIDRATADO M3	PORCENTAJES %
MEZCLA	2	1.57	100
REBOTE		0.48	30.57
MERMA		0.12	7.64
VOLUMEN PEGADO Y COMPACTADO		0.71	45.22
OQUEDADES		0.26	16.56
GRADO DE ASENTAMIENTO 21.5 %			

Fuente: CIA minera CASAPALCA

Para el lanzado de shotcrete vía seca se estimó un porcentaje de rebote de 20 a 40 %, de este de 5 a 10 % representa la merma o desprendimiento de la capa de shotcrete representando.

4.7. FACTORES DE SEGURIDAD

- ✓ **Antes** = Se debe de tener presente antes de shotcretear la siguiente indicación: Tener la ventilación adecuada, desquincar las rocas sueltas, el lavado de la roca, el secado, colocación de calibradores y forrados de cables si existiera. La máquina debe de estar ubicada a unos 10 m. del frente a shotcretear.
- ✓ **Durante** = Durante el shotcrete se debe de tener presente: la ventilación, iluminación, lanzado por tiempos, para poder ventilar y poder tener visibilidad en el lanzado.
- ✓ **Después** = Orden y limpieza, (el curado es uno de los trabajos básicos más importante de shotcrete debido a la consiguiente alta contracción y alto potencial de fisuración del concreto aplicado. Otra razón es el peligro del secado rápido a la alta ventilación tan común en los túneles, la rápida hidratación del shotcrete acelerado y la aplicación en capas delgadas. Por tal motivo el shotcrete deberá siempre curarse adecuadamente).

4.8. FACTORES AMBIENTALES

- Presencia elevada de polvo
- Menor visibilidad de la labor durante el lanzado
- Temperatura elevada en la labor de trabajo

CAPÍTULO V

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

5.1.APLICACIÓN CON SHOTCRETE VÍA HÚMEDA

5.1.1. PROCESO DE APLICACIÓN SISTEMA DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA

Otro método, denominado “vía húmeda” consiste en mezclar la cemento, arena y agua comúnmente en plantas de premezclado o equipos específicos para la actividad antes de ser dosificada por de la manguera del equipo, de tal forma que la mezcla llegara a la boquilla del equipo, estando lista para proyectar en la labor.

Para la vía húmeda se tendrá unos requerimientos mínimos de resistencia los cuales serán a las 4 horas de lanzado de 30 Kg/cm² y a los 7 días superior a 210 kg/cm², teniendo que ser verificada mediante ensayos de compresión.

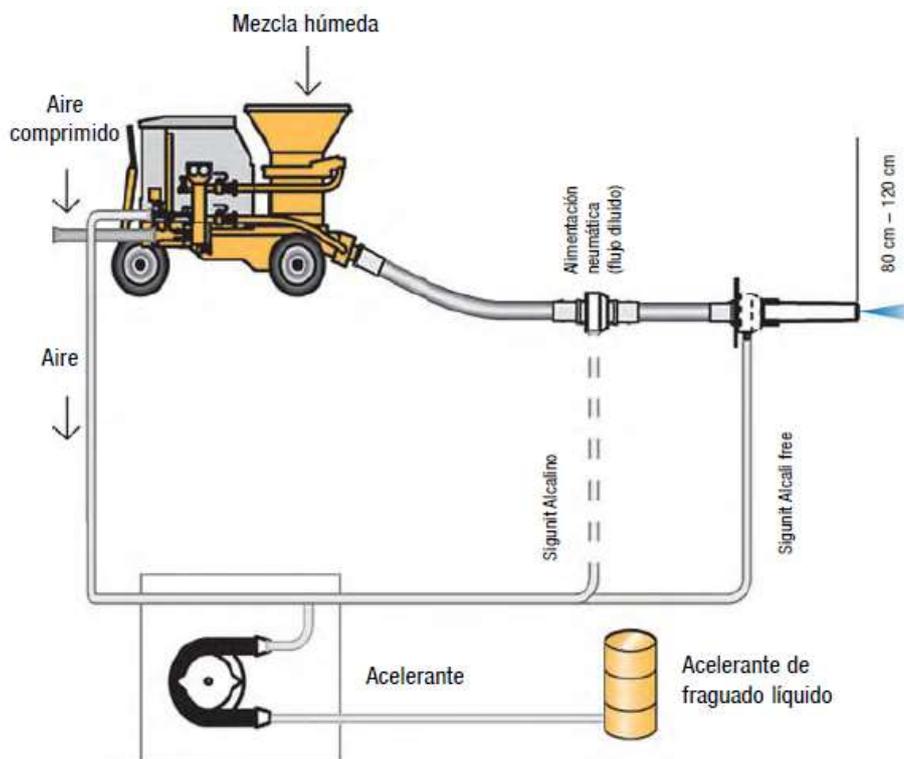
Principalmente está caracterizado por una calidad superior durante su control, debido a las proporciones fijas de A/C, menor costo de colocación y un ambiente mejor para el trabajo

libre de polvo, normalmente es necesario adicionar aditivos para agilizar el proceso de proyección y mejorar en las resistencias iniciales.

Está constituido a diferencia del shotcrete por vía seca de más aditivos como:

- **controladores de hidratación:** Para poder mantener la mezcla de 12 a 72 Hrs.
- **Superplastificantes:** Mejora la trabajabilidad y evita exceso de agua en la mezcla, evitando así la pérdida de resistencia en el tiempo.
- **Acelerantes:** Posibilita la reducción de tiempos para continuar con el lanzado y mejora su comportamiento en zonas húmedas.
- **Microsílice:** Complemento para el cemento que aumenta su resistencia a la compresión y la plasticidad, hace que la mezcla sea más densa y de mayor adherencia.
- **Fibras de refuerzo:** Permite aumentar la flexión y resistencia a la compresión, en presencia de agua se usa fibras sintéticas ya que no se deteriora con el agua.

Ilustración 21: Secuencia de Aplicación Vía Húmeda.



Fuente: Introducción A La Tecnología Básica De Concreto Proyectado - Jurgen Hofler

5.1.2. FASES DE SHOTCRETE VÍA HÚMEDA

- El cemento andino tipo 1, arena de gradación II, agua y la fibra se mezcla correctamente hasta conseguir una óptima homogeneidad, de ser necesario se adiciona polvo de sílice en no más de 4% del peso de cemento, también se utiliza de ser el caso fluidificante, finalmente se selecciona el tipo de cono de salida que variara de 8” a 16”.
- La mezcla preparada controlada en proporción es cargada a los mixseres, estos transportan la mezcla de la planta hasta la labor a sostener.
- La mezcla se va vaciando poco a poco hacia el tanque del SPM 4210 WETKRET y de aquí pasa a la manguera, se adiciona el acelerante en el proceso, si se emplea silicatos se agregaran a 5 m aproximadamente, el acelerante será libre de álcali para disminuir el rebote y conseguir resistencias iniciales altas.
- La mezcla es transportada por energía neumática hasta la boquilla. Esta boquilla va equipada con un distribuidor de aire para ayudar en la proyección.
- El shotcrete se lanza desde la boquilla (tobera) sobre la superficie a sostener.

5.1.3. PROPIEDADES DEL SHOTCRETE VÍA HÚMEDA

VENTAJAS:

- Capacidad de colocación superior.
- El operador se encuentra lejos del frente de trabajo de manera segura.
- Consto unitario bajo por la gran producción.
- Rebote entre 5% y 10%.
- Menor presencia de polvo en suspensión, por ende mejores condiciones.
- Optima aplicación de fibras, sin aumento en el rebote.
- Método ideal para superficies de gran dimensión.
- Para operar del equipo se requiere solo de dos personas.

- Equipos robotizados tiene facilidad de traslado es decir opera en varios frentes.

DESVENTAJAS:

- Línea de descarga limitada por su largo.
- Se deberá tener sección adecuada para traslado de robot y mixer.
- Equipos de mayor costo (robots).
- Requiere mayor entrenamiento para el operador.
- Se deberá contar con vías en buen estado para su traslado.

5.1. DISEÑO DE MEZCLAS PLANTEADO

Al igual que el diseño por vía seca se tomara en cuenta una resistencia mínima de 210 kg/cm² con un ligero aumento en la humedad de los materiales empleados de 6 a 8 % de humedad, se observa ligeras variaciones con respecto al diseño en vía seca, como se muestra en la *tabla 29* estos principalmente son: la adición de un aditivo plastificante, la reducción de media bolsa de cemento, el aumento de aditivo acelerante y una ligera disminución en la proporción de agua empleada,

Tabla 29: Diseño De Mezcla Vía Húmeda Teórica

DISEÑO DE MEZCLA VÍA HÚMEDA		
DOSIFICACIÓN POR METRO CUBICO, PARA SHOTCRETE DE 210 KG/CM ²		
humedad de 6 – 8 %		
Insumo	Cantidad	Observaciones
Cemento	9.5 Bls	Tipo I
	403.75 Kg	
Arena gradación 2	1675 kg	Granulometría II
Fibra metálica	20 - 30 kg	suelta
Aditivo acelerante de fraguado	30 - 35 Kg	Agilizar fragua
Plastificante	4.0 - 5.0 Kg	Reductor de Agua
Agua	150 - 180 Lt	regulable

Fuente: Geomecánica CIA Minera CASAPALCA

Cada componente de la mezcla posee su peso específico determinado por su clasificación, tipo o marca en el mercado, dichos datos se encuentran en la *tabla 30*.

Tabla 30: Pesos Específicos Materiales Componentes De Mezcla

PESO ESPECÍFICOS DE LOS MATERIALES		
Ítem	Kg/m ³	Producto
Cemento	3100	Andino Tipo I
Agua	1000	Corriente
Aditivo acelerante	1470	Sigunit
Plastificante	1180	SikaCem
Arena	2590	Cantera
Fibra de acero	7850	Dramix,

Fuente: Geomecánica CIA Minera CASAPALCA

Para estandarizar la mezcla se considera cantidades fijas de aditivo plastificante y acelerante así como de agua, fibra y cemento, los cuales son brindados por el área de geomecánica, obteniéndose un valor teórico de los componentes de la mezcla, observándose la presencia de aire en la mezcla en un metro cubico tal como se observa en la *tabla 31*.

Cabe resaltar que la disminución de aire presente en la mezcla es debido a la homogeneidad de la mezcla y la presencia de humedad, adicionalmente se tendrá menor esponjamiento debido a la preparación húmeda de la mezcla y el traslado de la misma en el MIXKRET 4.

Tabla 31: Volumen De Los Materiales Componentes De La Mezcla

CALCULO DE VOLUMEN DE LOS MATERIALES		
Ítem	Peso (kgs)	Volumen (m ³)
Cemento	403.75 Kg	0.1302
Agua	180	0.1800
Aditivo Acelerante	32.3 Kg	0.0220
Plastificante	4.04 Kg	0.0034
Arena	1675	0.6467
Fibra de acero	20	0.0025
Aire		0.0152
VOLUMEN TOTAL		1.0000

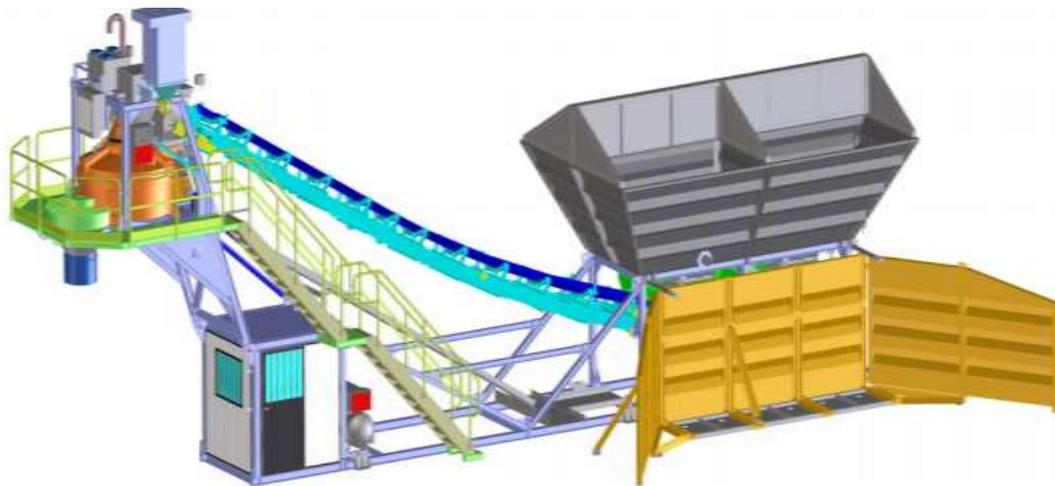
Fuente: Geomecánica CIA Minera CASAPALCA

5.2. PREPARACIÓN DE MEZCLA

Para el caso de la mezcla por vía húmeda se realizara directamente en una planta de premezclado en la cual se ira añadiéndolos componentes de la mezcla respetando las proporciones según la *tabla 29*, se alimentara la arena gradación II por el espacio lateral a la tolva con ayuda de un mini cargador, dicha tolva tiene una capacidad de hasta 40 metros cúbicos, la arena es trasladada por la faja ubicada en la parte central hacia un contenedor donde se adicionara la fibra metálica, cemento y agua, obteniéndose un nivel de homogeneidad deseable en la mezcla.

El mezclado se realizara en la planta dosificadora de concreto premezclado CIFAMOOVE 30, tal y como se muestra en la *ilustración 22*, la cual será ubicada en nivel Nv 01 a 4350 m.s.n.m,

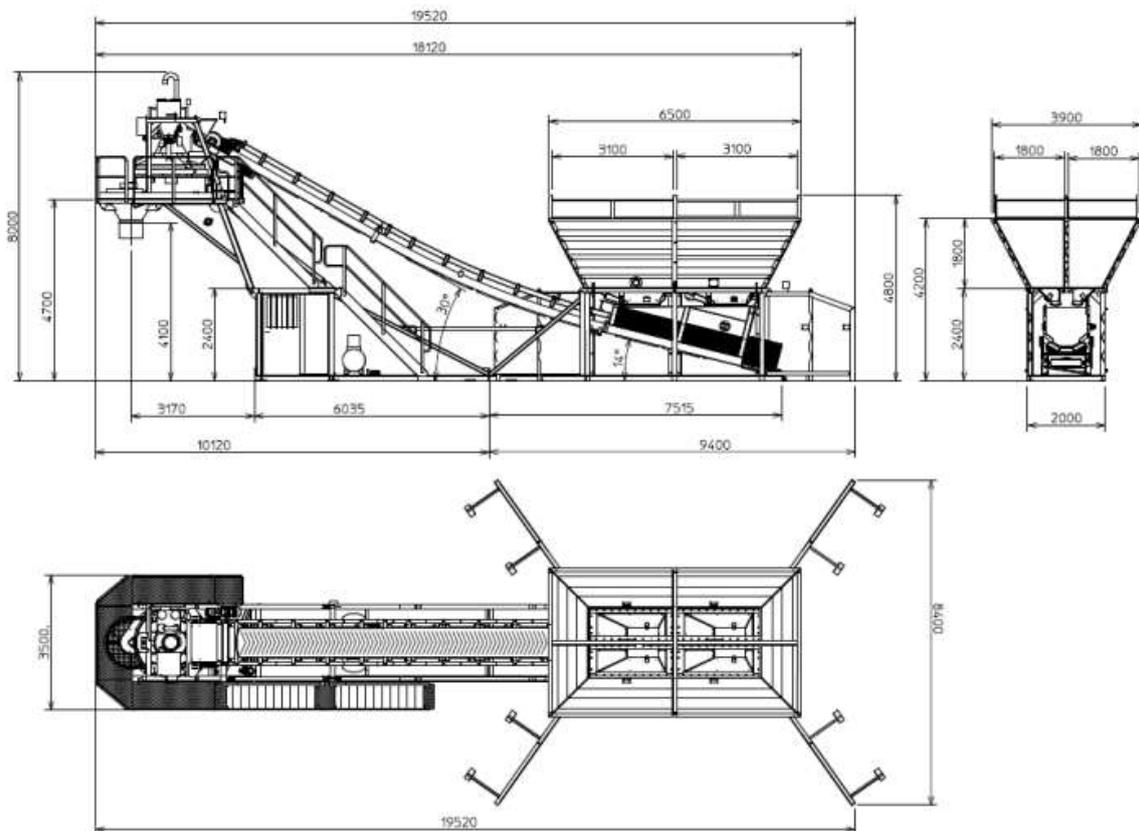
Ilustración 22: Planta Dosificadora De Concreto Premezclado CIFAMOOVE 30



Fuente: Ficha Técnica CIFA

Dicha planta es un modelo compacto compuesto por sólo dos unidades (el mezclado y almacenamiento de añadidos), la planta es pre cableada y pre ensamblada lo cual facilita su mantenimiento. La planta posee las siguientes características (*ilustración 23 y 24*):

Ilustración 23: Dimensiones planta dosificadora de concreto premezclado CIFAMOOVE 30



Fuente: Ficha Técnica Cifa

Tabla 32: Características Planta Dosificadora De Concreto Premezclado CIFAMOOVE 30

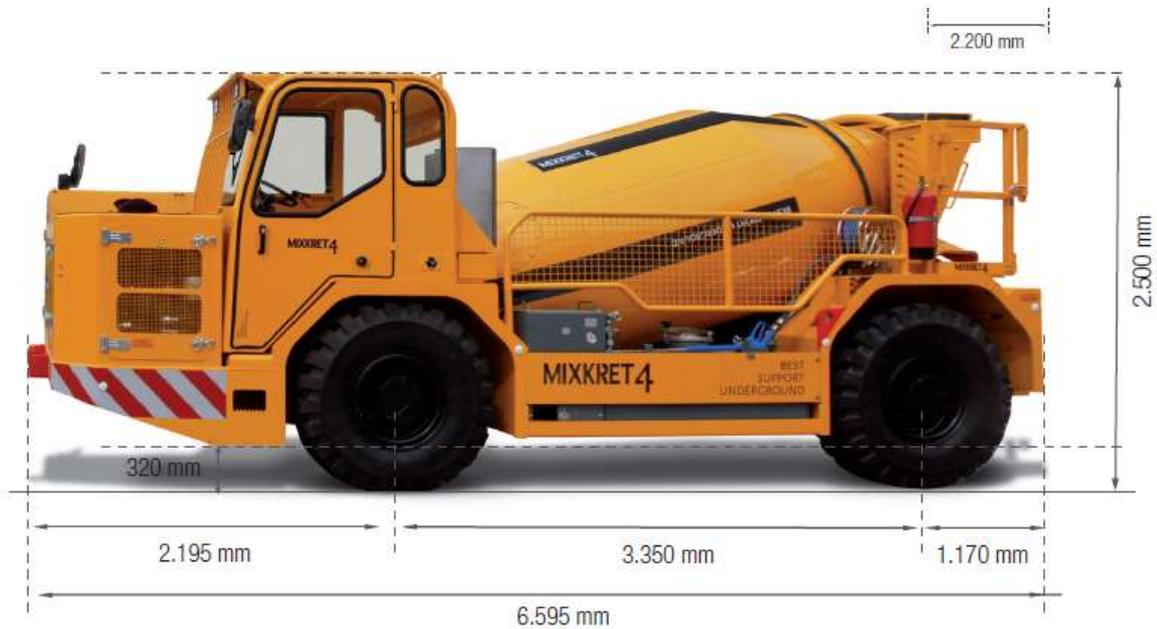
CIFAMOOVE 30	
Mixer type	Planetary
Mixer output (m ³ /cycle)	0.5
Plant output (m ³ /hour)	30
Aggregates (n.)	4
Aggregates storage (m ³)	4 x 8
Cement silos (n.)	Up to 2
Cement screw conveyors (diam.)	193 mm
Mixer feeding system	Inclined belt
Automation system	Cifawin
Moisture probes (type)	Microwave / capacitive
Additive dosing system	10 l + 10 l by weight
Water dosing system (l)	240 l by weight
Cement dosing system (l)	320 kg by weight
Mixer de-dusting system	By filter
Aggregate loading system	By ramp
Dimensions	n.2 x 12020 (l) x 2570 (h) x 2290 (w)

Fuente: Ficha Técnica CIFA

5.3. TRANSPORTE DE MEZCLA

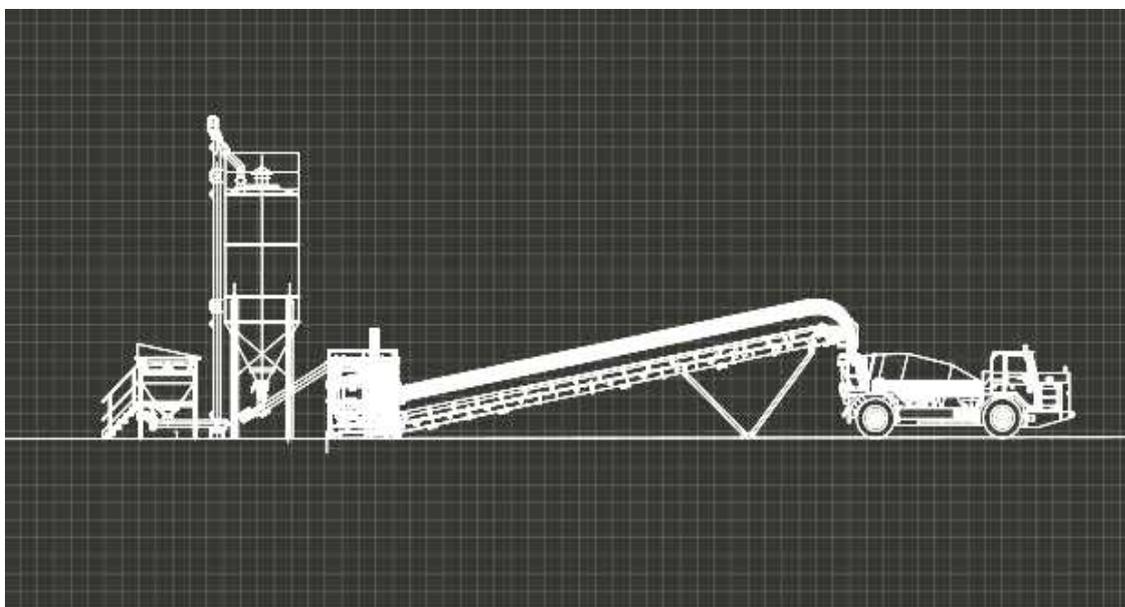
La mezcla premezclada con las cantidades especificadas en el diseño serán trasladadas mediante dos mixseres diseño MIXKRET 4 con capacidad de 4 metros cúbicos y velocidad máxima de 20 km/Hr.

Ilustración 24: Dimensiones De Mixer MIXKRET 4



Fuente: PUTZMEISTER

Ilustración 25: Despacho De Mezcla



Fuente: PUTZMEISTER

5.4. FACTORES OPERATIVOS PARA EL LANZADO DEL SHOTCRETE

5.4.1. EQUIPOS PROYECTORES DE CONCRETO

Para el lanzamiento de la mezcla se empleará el equipo robotizado para shotcrete SPM 4210 WETKRET.

Ilustración 26: Dimensiones De SPM 4210 WETKRET.



Fuente: PUTZMEISTER

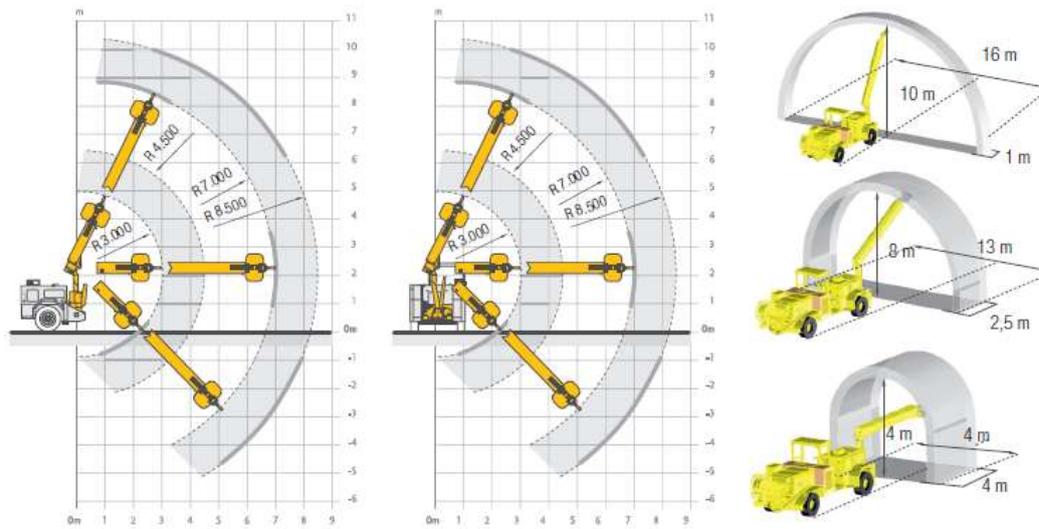
Tabla 33: Especificaciones Técnicas De SPM 4210 WETKRET.

Brazo telescópico de proyección Putzmeister SA 10.1		
Alcance máximo de proyección vertical / horizontal	m	10 / 8
Sección mínima de trabajo vertical / horizontal	m	2,5 / 2,4
Número de extensiones del brazo: 4 secciones (3 telescópicas) de accionamiento hidráulico proporcional		
Movimiento telescópico del brazo	m	4
Movimientos de ejes		6
Ángulo máximo del brazo	°	+65 / -40
Luces: 2 focos Xenon	V / W	24 / 45
Cabezal proyector		
Rotación	°	360
Inclinación	°	+120/-120
Nutación	°	10
Tobera	DN	40

Tolva		
Capacidad de la tolva llena	l	250
Altura de llenado	mm	1.300
Foco	V / W	24 / 70
Bomba de hormigón Putzmeister PM 1507		
Tipo Doble pistón, accionamiento hidráulico		
Caudal máx. (teór.) (variable 4 – 20 m³/h)	m³/h	20
Diámetro cilindro de transporte	mm	150
Presión máx. (teór.) sobre el hormigón	bar	65
Árido máx.	mm	16
Sistema de engrase automático		
Accionamiento sistema de bombeo y proyección		
Eléctrico	kW	37
Diesel (versión DUAL DRIVE*). Motor Diesel de tracción		
* accionamiento (eléctrico / Diesel)		

Fuente: PUTZMEISTER

Ilustración 27: Diagramas De Alcance Del Brazo Proyector Y Área De Proyección



Fuente: PUTZMEISTER

5.4.2. PERSONAL

Para poder realizar la actividad según procedimiento se deberá tener en cuenta:

- 1 operador planta
- 1 Ayudante planta
- 1 Operador de Lanzado
- 1 Ayudante de Robot
- 2 Operadores mixer.

Los cuales deberán estar debidamente capacitados en el lanzamiento con shotcrete en interior mina para poder así realizar la actividad planteada con la seguridad respectiva, cumpliendo los requerimientos de la labor.

5.4.3. CONDICIÓN DE LA LABOR

- Sección: Se establecerá la sección de 4 m x 4.5 m como estándar para el lanzado de shotcrete.
- Presencia de plegamientos
- Rugosidad del terreno

- Roca tipo III y Tipo II con RMR de 0 a 40 y de 40 a 60 respectivamente.
- Presencia de Agua siendo esta nula en los niveles más superficiales, mínima en la zona intermedia y considerable en la zona de profundización.

5.4.4. RENDIMIENTO

Se estima una producción mensual de 1000 metros cúbicos lanzados de espesor 2” y 3”

Tabla 34: Productividad De Lanzado De Shotcrete Tentativa

FECHA	ZONA	MATERIAL UTILIZADO				AVANCE	
		CEMENTO BOLSAS	SHOTCRETE / M3	FIBRA MET / Kg	ADITIVO / GlS	M 2 / L	M 3 / M
ene-20	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0
feb-20	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0
mar-20	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0
abr-20	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0
may-20	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0
jun-20	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0
jul-20	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0
ago-20	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0
sep-20	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0
oct-20	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0
nov-20	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0
dic-20	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0
ene-21	CUERPOS	10000	1000.0	20000	2500	10000	1000.0

Fuente: Elaboración Propia

5.5. FACTORES ECONÓMICOS

5.5.1. PRECIO UNITARIO PROPUESTO

Habiendo habilitado el uso de la planta dosificadora CIFAMOOVE 30, una maquina shotcretera robotizada SPM 4210 WETKRET y 02 mixseres MIXKRET 4 para la elaboración de la mezcla el lanzado y traslado de la mezcla respectivamente se procederá a estimar el costo de cada uno de estos equipos para un periodo de un mes, tiempo que se usara de referencia para el resto de los parámetros a analizar en el precio unitario, personal, materiales e implementos usados para una proyección de 1000 metros cúbicos mensuales distribuidos en 2 guardias por día.

Tabla 35: Precio Unitario Shotcrete Vía Húmeda M3

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS							
LANZADO DE SHOTCRETE -VÍA HÚMEDA							
Personal Requerido	32.20		Sistema trabajo		14x7		
Rendimiento / Mes	1,000.00	m3	20.00				
						S./m3	1,072.14
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario				Costo/m3
PERSONAL							
Jefe de Planta	MES	1.00	15,201.90			15,201.90	
Asistente de Planta	MES	1.00	5,600.70			5,600.70	
Ing. Supervisor Seguridad	MES	0.20	7,200.90			1,440.18	
Capataz	MES	3.00	5,120.64			15,361.92	
Operador Planta	MES	3.00	4,800.60			14,401.80	
Ayudante Planta	MES	3.00	4,000.50			12,001.50	
Mecánico Electricista	MES	3.00	5,120.64			15,361.92	
Electricista	MES	2.00	5,600.70			11,201.40	
Laboratorista	MES	1.00	5,120.64			5,120.64	
Operador Mixer	MES	6.00	5,709.52			34,257.12	
Ayudante Robot	MES	3.00	3,937.60			11,812.80	
Operador Camión Grúa	MES	3.00	2,030.65			6,091.96	
Operador Lanzado	MES	3.00	5,906.40			17,719.20	
Alimentación						9,917.60	
						175,490.64	175.49
IMPLEMENTOS							
Global x Guardia	Gdía	644.00	5.11			3,288.83	3.29
MATERIALES							
Cemento	Bol.	9,500.00	15.23			144,685.00	
Arena	m3	1,000.00	23.00			23,000.00	
Fibra de acero	kg.	20,000.00	4.79			95,810.00	
Acelerante de fragua	kg.	32,300.00	2.53			81,754.53	
Plastificante Estabilizador	kg.	4,037.50	9.75			39,361.69	
Calibradores	Uni.	10,000.00	1.63			16,250.00	
						400,861.22	400.86
MAQUINARIA Y EQUIPO							
Planta Versa	MES	1.00	33.75	208.00	hrs.	7,020.00	
Laboratorio	MES	1.00	7.03	208.00	hrs.	1,462.50	
Mini cargador	MES	1.00	60.43	208.00	hrs.	12,569.09	
MIXKRET 4	MES	2.00	98.11	416.00	hrs.	81,625.90	
Equipo Lanzador	MES	1.00	107.09	416.00	hrs.	44,549.64	
Camión Grúa	MES	1.00	95.61	333.33	hrs.	31,870.13	
Camioneta	MES	1.00	21.22	333.33	hrs.	7,073.66	
						186,170.92	186.17
SUB-TOTAL							765.81
GASTOS GENERALES	0.25						191.45
UTILIDAD	0.15						114.87
PRECIO UNITARIO S./M3							1,072.14

Fuente: Cia Minera Casapalca

De la *tabla 35* se establece el desarrollo de la actividad, lanzado de shotcrete tomando en cuenta parámetros que influyen directamente en los costos siendo estos, estos serán:

- ✓ **Personal:** para la vía húmeda se tomara en cuenta personal con capacitación específica a la actividad en las labores a realizar principalmente durante la preparación de la mezcla, el traslado de la misma y su posterior lanzado en la labor a sostener, adicionalmente un laboratorista, un mecánico, un electricista y la supervisión que estarán indirectamente interviniendo, con templando estos parámetros los costos ascienden a **175.49 soles por metro cubico.**
- ✓ **Materiales:** los componentes de la mezcla representan el mayor costo en el análisis del precio unitario, contemplando cemento, arena, fibra, aditivo acelerante, aditivo plastificante y calibradores dando un total de **400.86 soles por metro cubico.**
- ✓ **Implementos:** para este caso se refiere principalmente a todo el equipo de protección personal empleado por los involucrados en la labor dándonos un costo de **3.29 soles por metro cubico.**
- ✓ **Maquinaria y equipo:** para el método de sostenimiento por shotcrete vía húmeda se requerirá maquinaria un tanto más compleja en los procesos a tomar en cuenta antes y durante el lanzado siendo los más costosos los del transporte de la mezcla, también se empleara la planta de premezclado, mini cargador y camión grúa para poder dosificar los componentes de la mezcla y finalmente la maquina shotcretera, adicionalmente se contempla el costo del laboratorio para pruebas que se realizaran ocasionalmente y una camioneta para situaciones que se podrían presentar dándonos un costo de **186.17 soles por metro cubico.**

Se contemplara los gastos generales 25% y una utilidad del 15%, dándonos así **1072.14 soles por metro cubico** como P.U.

Se puede observar un incremento en costos en comparación al otro método de sostenimiento principalmente en equipos y personal, lo cual se compensara con un gran incremento de la producción.

5.5.2. REBOTE

Se tomara para la prueba de shotcrete el porcentaje teórico más alto de 12 % basándonos en el lanzado de Shotcrete vía húmeda en otras minas, el cual fluctúa entre 8 y 12 %.

Tabla 36: rebote usando vía húmeda en mina san Cristóbal

LABOR:	: Nv 10 - Tj 452	REBOTE: 11.7 %
HORA DE LANZADO:	10:48 a. m.	
SLUMP (Pulg.)	7 1/4	
Cubos Lanzados (M3):	4	
Cantidad Proyectada Conocida (Kg):	8727 KG	
Cantidad material de rebote (Kg):	1024	
OBSERVACIONES:		
El robot fue operado por Juan Perez (Operador - Supermix). Se lanzo en la Corona y Caja Techo, con una presión de aire de 4.5 BAR Temperatura ambiente de la labor 13.9 °C		

Fuente: Supermix

5.6. FACTORES DE SEGURIDAD

- ✓ **Antes** = Se debe de tener presente antes de shotcretear la siguiente indicación: Tener la ventilación adecuada, desquincar las rocas sueltas, el lavado de la roca, el secado, colocación de calibradores y forrados de cables si existiera. Deberá estacionar el Robot Shotcretero a unos 10 m. del frente a shotcretear.
- ✓ **Durante** = Durante el shotcrete se debe de tener presente: la ventilación, iluminación, colocar en retroceso el mixer e iniciar el acople a la maquina shotcretera, para poder proceder con la descarga del concreto.
- ✓ **Después** = Terminado el lanzado desacoplar los equipos, realizar orden y limpieza de los equipos de tal manera que no quede rastros de la mezcla. Finalmente realizar orden y limpieza de la labor.

5.7. FACTORES AMBIENTALES

- Se tendrá mayor visibilidad en el espacio de trabajo
- Baja presencia de polvo proveniente del lanzado de la mezcla.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1.DISEÑO DE MEZCLA

Tabla 37: Diseño comparativo de mezcla Shotcrete

DISEÑO DE MEZCLA			
DOSIFICACIÓN POR METRO CUBICO, PARA SHOTCRETE DE 210 KG/CM2			
Insumo	Vía Seca	Vía Húmeda	Observaciones
Cemento	425 kg	403.75	Tipo I
Arena gradación 2	1675 kg	1675 kg	Granulometría II
Fibra metálica	20 - 30 kg	20 - 30 kg	Suelta
Aditivo acelerante de fraguado	2.0 - 3.0 Gal	30 - 35 Kg	Agilizar Fragua
Plastificante	-	4.0 - 5.0 Kg	Reductor De Agua
Agua	160 – 200 Lt.	150 - 180 Lt	Regulable

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se muestra en la *tabla 37* se observan ligeras variaciones en el diseño comparativo de ambos métodos, principalmente la reducción de media bolsa de cemento, un incremento notable en los aditivos y una pequeña reducción en la cantidad de agua empleada en su preparación.

En la *tabla 38* se puede observar factores significativos y más resaltantes para diferenciar las bondades de ambos tipos de lanzado de shotcrete

Tabla 38: Cuadro Comparativo de lanzado de shotcrete

Vía Seca	Vía Húmeda
La mezcla se realiza en el sitio de trabajo	La mezcla se realiza en la planta dosificadora y adicionalmente en el MIXKRET 4
La mezcla se hace de forma manual por parte de los ayudantes siendo esta no tan homogénea	La mezcla se hace de forma mecánica, alcanzando un alto grado de homogeneidad
No se tiene un control exacto de la relación agua cemento (A/C), siendo principalmente definida por el maestro lanzador de shotcrete	Se tiene un control más preciso de la relación agua cemento (A/C) ya que esta se realiza en la planta dosificadora con cantidades exactas según la mezcla establecida.
Menor requerimiento de aditivo	Mayor requerimiento de aditivo

Fuente: Elaboración Propia

6.2.LANZADO DE SHOTCRETE

- Se estima el uso de la planta dosificadora de concreto en 4 horas por lo que dependiendo de la distancia se enviara 3 a 4 viajes de la mezcla, para la zona alta será de 04 viajes, para zonas de profundización y niveles inferiores se requerirá un análisis más minucioso.
- Se estima un total de 1000 metros cúbicos lanzados por mes pero este se ve afectado por la capacidad del equipo que transportara la mezcla desde la planta dosificadora, es decir de 4 viajes durante una guardia para la zona alta, tal y como se puede observar en la *tabla 39*.

Tabla 39: Producción Promedio De Lanzado De Shotcrete

Vía Seca		Vía Húmeda		Factor de cumplimiento	
PRODUCCIÓN PROMEDIO 2”		PRODUCCIÓN PROGRAMADA 2”		Viajes de mixer	
M2/mes	M3/mes	M2/mes	M3/mes	3	4
3000	300	10000	1000	12 m3/Gd	16 m3/Gd
				720	960

Fuente: Elaboración Propia

- La operación de lanzado será realizada por equipos lanzadores los cuales son:
 - Vía seca: ALIVA 237 u OCMER 030 tendrán un promedio de lanzado de 5 metros cúbicos por guardia.
 - Vía Húmeda: SPM 4210 WETKRET tendrán un promedio de lanzado de 12 a 16 metros cúbicos por guardia.
- Para cada metro cubico lanzado se tendrá perdidas por factores operativos o técnicos del terreno las cuales son:

Tabla 40: Rendimiento Y Pérdidas Operativas Por Metro Cubico

RENDIMIENTO		
	Vía seca	Vía húmeda
Shotcrete de 2”	10 m2/m3	10 m2/m3
Shotcrete de 3”	07 m2/m3	07 m2/m3
Porcentaje de rebote	38.21%	11.67%
Pérdidas operativas		
Rebote	38.2%	11.7%
Compactación	1 - 3%	1 - 3%
Rugosidad	0% -16.6% (Varia)	0% - 16.6% (Varia)
Perdida manipuleo	5 – 7 %	1 – 2 %
TOTAL	60.8 %	30.3 %
LANZADO EFECTIVO	39.2 %	69.7 %

Fuente: Elaboración Propia

6.3.REQUERIMIENTOS DE LA CAPA DE SHOTCRETE

6.3.1. REQUERIMIENTOS MECÁNICOS

- Deberá tener resistencia temprana suficiente para contrarrestar las tensiones o relajaciones adecuadas para el último tramo excavado.
- Se deberá obtener resistencias adecuadas para equilibrar los esfuerzos de corte o cizallamiento y flexo-tracción, de esta manera soportar eficazmente a las sollicitaciones del “empuje de roca”.

6.3.2. REQUERIMIENTOS FÍSICOS

- Deberá contar con protección contra meteorización, el deterioro o erosión de la superficie del macizo rocoso.
- No permitir el ingreso de humedad o aire en las aberturas de la roca.
- No permitir variación de temperatura circundante a la excavación.

6.3.3. REQUERIMIENTOS HIDRÁULICOS

- Impermeabilización de la labor.
- Reducción de rugosidad en las paredes de la labor, para evitar y controlar la pérdida de carga, cuando la excavación tiene por finalidad conducir agua.

6.3.4. REQUERIMIENTOS QUÍMICOS

- Protección contra aguas agresivas, gases o humos.
- Proteger la rocas de aguas acidas para poder evitar la desestabilización de la roca circúndate.

6.4.CALIDAD

Se realizara el control de calidad calculando la resistencia mecánica de los diseños escogidos.

Tabla 41: Resistencias Al Día, 3 Días, 7 Días Y 28 Días Del Shotcrete Vía Seca

Pruebas De Laboratorio Del Fraguado De Las Probetas Cilíndricas						
Tipo De Diseño	Rel: 0.44	D1-3330 Rel:: 0.43	D2-3330 Rel:: 0.43	D3-3330 Sc Rel: 0.43	D4-3330 Sc Rel:: 0.43	D5-3330 Sc Rel:: 0.43
Dosificación En El Área De Trabajo						
Cantidad Del Cemento Tipo I	425.0 Kg	425.0 Kg	425.0 Kg	425.0 Kg	425.0 Kg	425.0 Kg
Agregado Seco Grado 2	1675.0 Kg	1675.0 Kg	1675.0 Kg	1675.0 Kg	1675.0 Kg	1675.0 Kg
Fibra Metálica	4.0 Kg	4.0 Kg	4.0 Kg	4.0 Kg	4.0 Kg	4.0 Kg
Agua	187.0 Lt	183.0 Lt	183.0 Lt	183.0 Lt	183.0 Lt	183.0 Lt
Temperatura Del Concreto	13.8	14.5	14	13.2	13.5	13

Parámetro De Endurecimiento Del Fraguado						
Resistencia A 24 Hr Kg/Cm2	98.0 Kg/Cm2	104.0 Kg/Cm2	70.0 Kg/Cm2	79.0 Kg/Cm2	126.0 Kg/Cm2	100.0 Kg/Cm2
Resistencia A 3 Días Kg/Cm2	288.0 Kg/Cm2	241.0 Kg/Cm2	254.0 Kg/Cm2	174.0 Kg/Cm2	256.0 Kg/Cm2	250.0 Kg/Cm2
Resistencia A 7 Días Kg/Cm2	360.0 Kg/Cm2	337.0 Kg/Cm2	372.0 Kg/Cm2	279.0 Kg/Cm2	346.0 Kg/Cm2	340.0 Kg/Cm2
Resistencia A 28 Días Kg/Cm2	420.0 Kg/Cm2	412.0 Kg/Cm2	401.0 Kg/Cm2	423.0 Kg/Cm2	422.0 Kg/Cm2	389.0 Kg/Cm2

Fuente: Cia Minera Casapalca

Tabla 42: Resistencias Los 3 Días, 7 Días Y 28 Días Del Shotcrete Vía Húmeda

PARÁMETRO DE ENDURECIMIENTO DEL FRAGUADO para A/C 0.45					
RESISTENCIA A 3 DÍAS kg/cm2		RESISTENCIA A 7 DÍAS kg/cm2		RESISTENCIA A 28 DÍAS kg/cm2	
242	239	362	369	480	476
162	162	245	261	348	352
248	243	369	378	476	463
199	180	244	286	452	376
200	203	294	284	411	411
197	206	273	267	342	349
206	204	280	289	335	332

Fuente: Concretos Súper Mix

- Con ambas mezclas se obtiene cifras superiores al mínimo de resistencia mecánica requerida que es de 210 kg/cm2 a los 28 días, siendo estas favorables para las labores permanentes en las que se empleara este tipo de sostenimiento.
- Siendo 10.2 kg/cm2 igual a 1 MPA podemos categorizar del promedio el soporte a la compresión axial.

Tabla 43: Resistencias A La Compresión Axial Para Ambos Métodos

	Vía seca	Vía húmeda
A los 28 Días	40.3 Mpa	39.2 Mpa

Fuente: Elaboración Propia

6.5.EVALUACIÓN ECONÓMICA

Tabla 44: Costo De Personal Por Metro Cubico Vía Seca

VÍA SECA			PARA 245.70 M3	
PERSONAL				
2.00	Operador de Shotcrete		47.28	S/M3
3.00	Ayudante de Shotcrete		70.91	S/M3
1.00	Operador de Scoop		7.85	S/M3
1.00	Jefe de Guardia		25.59	S/M3
1.00	Supervisor de Mina		5.80	S/M3
1.00	Electricista Equipos Mina		3.57	S/M3
1.00	Mecánico Equipos Mina		9.48	S/M3
1.00	Maestro de Ventilación		1.48	S/M3
1.00	Ayudante de Ventilación		1.48	S/M3
1.00	Bodeguero		0.74	S/M3
	Alimentación		15.78	S/M3
TOTAL			189.95	S/M3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45: Costo De Personal Por Metro Cubico Vía Húmedo

VÍA HÚMEDA			PARA 1000 M3	
PERSONAL				
1.00	Jefe de Planta		15.20	S/M3
1.00	Asistente de Planta		5.60	S/M3
0.20	Ing. Supervisor Seguridad		1.44	S/M3
1.00	Capataz		15.36	S/M3
1.00	Operador Planta		14.40	S/M3
1.00	Ayudante Planta		12.00	S/M3
1.00	Mecánico Electricista		15.36	S/M3
1.00	Electricista		11.20	S/M3
1.00	Laboratorista		5.12	S/M3
2.00	Operador Mixer		34.26	S/M3
1.00	Ayudante Robot		11.81	S/M3
1.00	Operador Camión Grúa		6.09	S/M3
1.00	Operador Lanzado		17.72	S/M3
	Alimentación		9.92	S/M3
TOTAL			175.49	S/M3

Fuente: Elaboración Propia

De las *tablas 44 y 45* podemos deducir que el personal necesario para la vía seca estará compuesto de personal formado empíricamente ya que representa una actividad mayormente manual, al contrario con la vía húmeda el personal estar conformado por técnicos y operadores principalmente debido a ser esta una actividad más mecanizada, contemplando salarios mayores pero para caso del precio unitario se contemplara una disminución en el costo directo por metro cubico lanzado de mezcla de **189.95 soles por metro cubico para vía seca y 175.49 por metro cubico** para vía húmeda debido al incremento en la producción estimada.

Tabla 46: Cuadro Comparativo De Precios Para Un Metro Cubico De Shotcrete

Costo para un metro cubico de Shotcrete						
insumo	UND	Vía húmeda	Vía seca	Precio unitario /S	total húmeda s/m3	total seca s/m3
Cemento Andino I	Bol.	9.50	10	15.23	144.69	152.3
Arena	m3	1.00	1.00	23.00	23.00	23.00
Fibra de acero	kg.	20.00	20.00	4.79	95.81	95.81
Acelerante de fragua	kg.	32.30	12.5	2.53	81.75	31.63
Plastificante Estabilizador	kg.	4.04	-	9.75	39.36	-
Calibradores	Uni.	10	10	1.63	16.25	16.25
TOTAL					400.86 s/m3	318.99 s/m3

Fuente: Elaboración Propia

De la *tabla 46* podemos concluir que con respecto a materiales se observa un incremento en el costo directo de la vía húmeda con **400.86 soles por metro cubico** frente a la vía seca con **318.99 soles por metro cubico** debido principalmente a la adición de aditivos tanto acelerantes y plastificantes en proporciones considerables para la preparación de la mezcla, aunque se mantenga la proporción de áridos y fibra metálica esto repercutirá directamente.

El cambio más resaltante del cambio de método de sostenimiento fue un cambio del proceso mecánico o manual al mecanizado, donde se realizó la implementación de diversos equipos a tomar en cuenta, como la instalación de una planta móvil CIFAMOOVE 30 con su respectivo

cargador y grúa para abastecimiento de elementos de la mezcla, para el traslado de la mezcla dos equipos MIXKRET 4 y para la aplicación de la mezcla una maquina shotcretera SPM 4210 WETKRET la cual reemplaza a los equipos convencionales Aliva y Ocmer y elimina el uso del Scoop de 2 Yd3, de igual forma el costo directo representara un aumento por la adición de todo la maquinaria implementada incluyendo el laboratorio para pruebas y la camioneta para imprevistos, pero se compensaría con la producción programada dándonos para el análisis de precios unitarios un total de **186.17 soles por metro cubico** frente a la vía seca con **156.12 soles por metro cubico**.

Tabla 47: Costo De Equipos Por Metro Cubico

Vía seca	
EQUIPO	S/M3
Ocmer	56.96
Scoop 2.0 yd3	99.16
TOTAL	156.12
Vía húmeda	
MAQUINARIA Y EQUIPO	S/M3
Planta Versa	7.02
Laboratorio	1.46
Mini cargador	12.57
MIXKRET 4	81.63
Equipo Lanzador	44.55
Camión Grúa	31.87
Camioneta	7.07
TOTAL	186.17

Fuente: Elaboración Propia

También se considerara los gastos generales para la implementación del personal en guardia, en caso vía seca se considerar los equipos de protección personal y las herramientas empleadas en la actividad y para la vía humedad solo se contemplara los equipos de protección personal ya que cada equipo tiene sus propias herramientas incluidas en la maquinaria dándonos para el análisis de precios unitarios **3.29 soles por metro cubico** frente a la vía seca con **11.85 soles por metro cubico**, tal como se muestra en la *tabla 48*.

Tabla 48: Costo De Implementos Por Metro Cubico

Vía seca

IMPLEMENTOS GLOBAL/ GUARDIA		
HERRAMIENTAS	4.66	S/M3
OTROS	7.19	S/M3
COSTO IMPLEMENTOS	11.85	S/M3

Vía húmeda

IMPLEMENTOS GLOBAL/ GUARDIA		
COSTO IMPLEMENTOS	3.29	S/M3

Fuente: Elaboración Propia

En síntesis tendremos un cuadro comparativo de los costos obtenidos en el análisis de precios unitarios para un metro cubico de mezcla lanzada tal y como se muestra en el *tabla 49*.

Tabla 49: Resumen De Costos Por Metro Cubico

RESUMEN DE COSTOS				
	VÍA SECA		VÍA HÚMEDA	
	COSTO			COSTO
PERSONAL	189.95	S/M3	175.49	S/M3
DISEÑO	319.025	S/M3	400.894	S/M3
IMPLEMENTOS	11.85	S/M3	3.29	S/M3
EQUIPO	156.12	S/M3	186.17	S/M3
COSTO	676.95	S/M3	765.85	S/M3
GASTOS GENERALES	169.24	S/M3	191.46	S/M3
COSTO TOTAL	846.18	S/M3	957.31	S/M3
PU	952	S/M3	1072.14	S/M3

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta el precio unitario, el costo total, gastos generales y utilidad contemplada en la *tabla 49* se obtendrá costos y beneficios contemplado para una producción estándar en una guardia, tal y como se muestra en la *tabla 50*.

Tabla 50: Costos Y Beneficios Por Método De Lanzado

VÍA SECA		
5	M3/TAREA	
COSTO TOTAL	4,230.92	S/
LANZADO	4760	S/
BENEFICIO	529.08	S/
VÍA HÚMEDA		
16	M3/TAREA	
COSTO TOTAL	15316.96	S/
LANZADO	17154.24	S/
BENEFICIO	1837.28	S/

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que económicamente el lanzado vía húmeda es rentable y superior al lanzado vía seca siendo la diferencia: $1837 - 529 = 1308$ s/Grd.

Tabla 51: Incremento En El Beneficio Por M3 Y M2

INCREMENTO EN EL BENEFICIO POR M3 Y M2				
beneficio vía húmeda	114.83	s/m3	11.48	s/m2
beneficio vía seca	105.82	s/m3	10.58	s/m2
Diferencia	9.02	s/m3	0.90	s/m2

Fuente: Elaboración Propia

6.6. AMBIENTE DE TRABAJO

- Se tendrá un ambiente más sano y agradable para el personal que labora en la zona que se ha de shotcretear ya que se generara menos polvo en la zona a shotcretear, así mismo al no estar presente la nube de polvo se mejorara la visibilidad en la zona de trabajo.
- Al emplear shotcrete vía húmeda se reducirá el rebote por ello al final de cada guardia al realizar el orden y limpieza será mucho más fácil para el personal presente.
- Se obtendrá niveles de ruido inferiores ya que el personal se encontrara a una distancia de entre 4 a 10 metros de distancia de la zona de lanzado.

6.7. SOSTENIMIENTO ADICIONAL AL SHOTCRETE

Debido a la sección de la labor se utilizara principalmente los siguientes métodos de sostenimiento:

- Sostenimiento con Perno Helicoidal
- Sostenimiento con Split Set
- Instalación de mallas
- Instalación de Cimbras
- Lanzado de Shotcrete

Tabla 52 Sostenimiento empleado en Sección Cuerpos

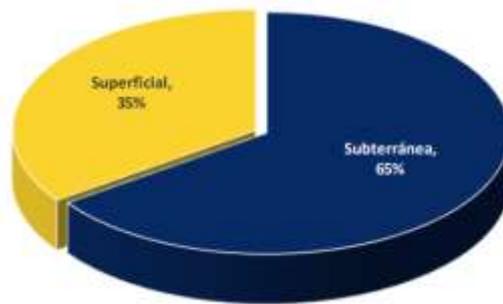
Área	Descripción	unidad	PU Final
Cuerpos	Sostenimiento PH 7' Boltec	s/perno	S/ 65.72
Cuerpos	Sostenimiento PH 8' Boltec	s/perno	S/ 74.25
Cuerpos	Sostenimiento PH 10' Boltec	s/perno	S/ 94.22
Cuerpos	Sost. PH 7' Frontonero - Manitou	s/perno	S/ 123.24
Cuerpos	Sostenimiento Split 7' Boltec	s/perno	S/ 54.03
Cuerpos	Cimbra 4.5 x 5.0 Viga H 6" x 6"	s/Kg	S/ 10.30
Cuerpos	Shotcrete 2" VS	s/m2	S/ 95.20
Cuerpos	Shotcrete 3" VS	s/m2	S/ 136.05
Cuerpos	Shotcrete 2" VH	s/m2	S/ 107.2
Cuerpos	Shotcrete 3" VH	s/m2	S/ 153.16
Cuerpos	Instalación de Cable Bolting Por m - SIMBA	s/m	S/ 39.92
Cuerpos	Sostenimiento Split Set 7 pies - Robolt	s/perno	S/ 53.97
Cuerpos	Colocado de Bolsacrete	s/Blsa	S/ 9.57
Cuerpos	Lanzado de shotcrete -vía húmeda 2"	s/m2	S/ 1,07.21
	Instalación Malla Metálica	s/m2	S/ 51.94

Fuente: Productividad Casapalca

6.8.SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

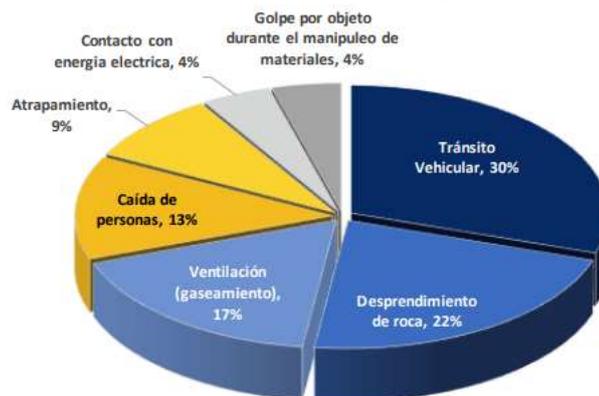
Un 65% de los accidentes sucedieron en minería subterránea tal como se muestra en la *ilustración 28* a su vez un 22% de los accidentes mortales fue ocasionado en el 2018 por caída de rocas tal como se muestra en la *ilustración 29*, lo cual demuestra la importancia de un sostenimiento resistente, más ahora que CASAPALCA tuvo 02 mortales en diciembre de 2018 tal como se muestra en la *ilustración 30*.

Ilustración 28: Porcentaje De Accidentes Mortales Según Ámbito De Trabajo Año 2018



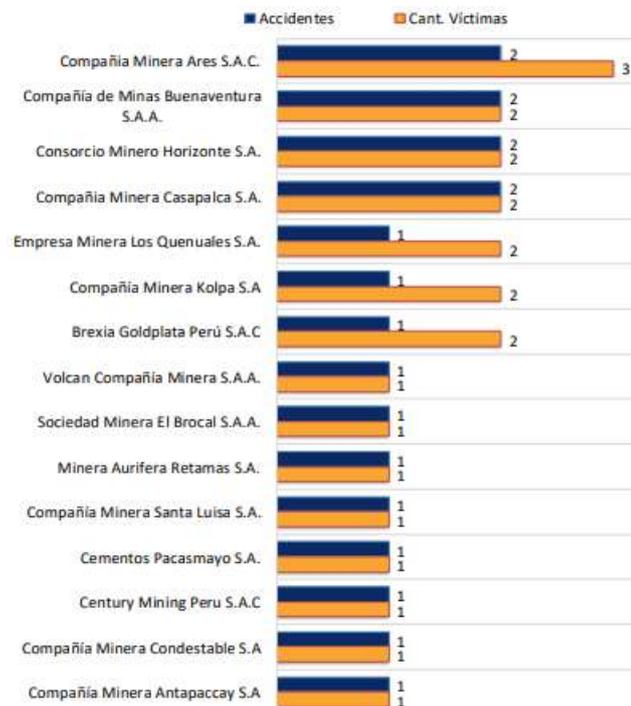
Fuente: OSINERGMIN

Ilustración 29: Porcentaje De Accidentes Mortales Según Tipo De Accidente Año 2018



Fuente: OSINERGMIN

Ilustración 30: Víctimas Mortales por Titular Minero



Fuente: OSINERGMIN

En el tema de seguridad se tendrá mejoras en los siguientes aspectos:

- El operador y su ayudante se encontraran a una distancia considerable de la zona de lanzado de shotcrete.
- Aviándose obtenido cifras mayores al mínimo requerido de resistencia a la compresión se considerara las labores permanentes lanzadas con shotcrete como seguras.

En el tema de salud ocupacional se tendrá menor presencia de polvo en el ambiente lo cual reduciría a largo plazo la presencia de enfermedades respiratorias como la silicosis o neumoconiosis, además se tendrá reducción de niveles de ruido en la labor disminuyendo el riesgo de sordera pese al uso de equipos de protección personal, reduciendo la presencia de enfermedades ocupacionales en el entorno de trabajo.

6.9.OPERATIVAS

- Al agilizar el proceso de sostenimiento se ahorra tiempo en el ciclo de minado, para labores de avance se aprovechara el tiempo en operaciones de perforación, voladura y limpieza de labor para así optimizar el ciclo de minado.
- El régimen de trabajo que se tiene afectara directamente en el rendimiento del lanzado del shotcrete.

CONCLUSIONES

1. El diseño de shotcrete vía húmeda permitirá una mejor aplicación de la mezcla planteada, en roca mala a regular de RMR de 0 a 60, para labores permanentes en la Sección cuerpos Cia Minera Casapalca, teniendo un proceso bastante dinámico debido al uso de equipo robotizado SPM 4210 WETKRET, a su vez se elevó el lanzado de metros cúbicos de shotcrete en gran medida debido al uso de la planta dosificadora de mezcla CIFAMOOVE 30 y el equipo de transporte mediante MIXKRET 4, obteniéndose mayor versatilidad ya que la movilidad de los equipos es independiente, no requiriendo de equipo adicional para su traslado, demostrando así ser más eficiente y de mayor beneficio para el sostenimiento de labores subterráneas en sección cuerpos zona alta – Cia Minera Casapalca
2. Se determina que para labores permanentes el sostenimiento por shotcrete vía húmeda será el más apto de aplicar debido a que se obtendrá una mayor calidad en cuanto a resistencia mecánica con 400 kg/cm² a los 28 días lo cual representa una cifra elevada para el planteo necesario de 210 kg/cm² a los 28 días, a su vez se obtiene un mejor rendimiento de los elementos componentes de la mezcla de shotcrete debido a que se obtendrá un rebote menor en 26.5%.
3. Del diseño de shotcrete propuesto, para un espesor de 2 pulgadas según la estructura de precio unitario se obtendrá un incremento en el beneficio de s/ 1308 por guardia.
4. El diseño de lanzado vía húmeda ofrece un mejor ambiente laboral para el personal ubicado en la labor con mínimas cantidades de polvo en suspensión y mayor visibilidad del entorno de trabajo, siendo este también más seguro ya que el personal en la zona de sostenimiento se encontrara a una distancia de 4 a 10 metros de la zona de lanzado.

RECOMENDACIONES

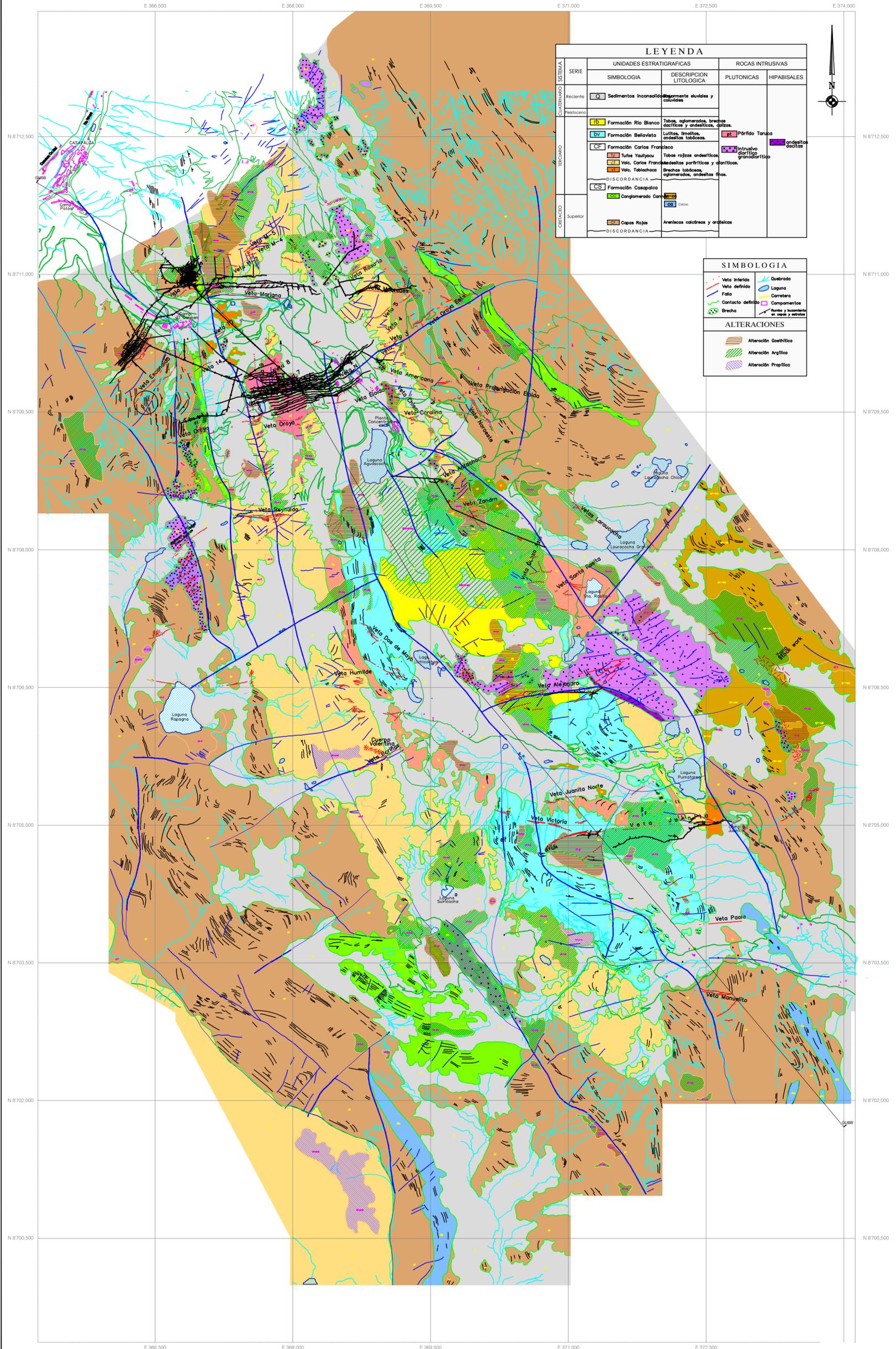
1. Se recomienda continuar con el sostenimiento mediante el shotcrete para continuar reduciendo los accidentes por desprendimiento de rocas.
2. Se recomienda tener bastantes labores listas para el sostenimiento con shotcrete ya que en varias oportunidades se observó que los equipos de shotcrete están esperando a que se preparen las labores, esto dificulta que se complete con el requerimiento por parte de Operaciones Mina, el total de labores a sostener.
3. Se recomienda combinar el sostenimiento de shotcrete vía húmeda para labores permanentes con sostenimiento activo y mallas electrosoldadas para mejorar la resistencia del macizo rocoso.
4. Para el futuro se recomienda la construcción de una planta dosificadora en interior mina para poder abarcar en zonas más profundas de la mina ya que se continuara con la profundización.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCA, S. V. (2010). *“APLICACIÓN DE CONCRETO LANZADO POR VIA HUMEDA EN EL SOSTENIMIENTO DE LABORES DE DESARROLLO Y PROFUNDIZACION EN LA ZONA AURIFERA DE PATAZ”*. Arequipa: Tesis.
- BARTON, N. G. (1994). *ROCK MASS CONDITIONS DICTATE CHOICE BETWEEN NMT AND NATM*. Oslo: Tunnels and Tunnelling Internacional.
- BIENAWSKI, V. P. (1989). *ENGINEERING ROCK MASS CLASIFICATIONS*. New York: John Wiley and Sons.
- CARRASCO, M. O. (2015). *SHOTCRETE: GUIA CHILENA DEL HORMIGON PROYECTADO* (II ed.). Santiago: INSTITUTO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGON DE CHILE.
- CERVANTES, G. L. (2016). *OPTIMIZACIÓN DE LA LOGÍSTICA DEL SHOTCRETE EN OPERACIONES SUBTERRÁNEAS*. Lima: Casapalca.
- CONDOR LEON, L. A. (2017). *EVALUACION DEL SHOTCRETE VIA SECA COMO METODO DE SOSTENIMIENTO EN EL NIVEL 06 XC 750 W EN LA UNIDAD CUERPO MERY COMPAÑIA MINERA CASAPALCA*. Huancayo: Tesis.
- CRUZ RAMIREZ, I. (2004). *MANUAL DE GEOMECÁNICA APLICADA A LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES POR CAIDA DE ROCA EN MINERIA SUBTERRANEA*. Lima: Sociedad Nacional De Minería, Petróleo y Energía.
- CRUZ, J. G. (2014). *“IMPORTANCIA DE LA APLICACIÓN DEL SHOTCRETE VIA SECA COMO SOPORTE Y PREVENCIÓN DE CAIDA DE ROCAS EN MINERA ORION*. Arequipa: Tesis.
- DÍAZ, P. A. (2006). *CONCRETO LANZADO: DISEÑO DE MEZCLA Y PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE CALIDAD*. Lima: Tesis.
- FLORES, E. A. (2009). *CONCRETO LANZADO - SHOTCRETE*. Lima: Tesis.
- Geologia Web*. (2018). Obtenido de <https://geologiaweb.com>
- HOEK, E. K. (1995). *SUPPORT OF UNDERGROUND EXCAVATIONS IN HARD ROCK*. Ottawa: A. A. Balkema.

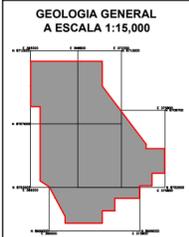
- HOFLER, J. (2004). *INTRODUCCION A LA TECNOLOGIA BASICA DE CONCRETO PROYECTADO - SIKA*. Bogota: Pultzmeister.
- ICOCHEA, A. G. (2008). *OPTIMIZACIÓN DE OPERACIONES UNITARIAS Y PLANEAMIENTO DE MINADO EN SUBLEVEL STOPING APLICADO AL CUERPO MINERALIZADO MERY DE LA CIA. MINERA CASAP ALCA*. Lima: Tesis.
- LEÓN, J. M. (2018). *MEJORAR EL RENDIMIENTO POR M3 DE SHOTCRETE VIA HUMEDA SEMI MECANIZADO EN MINA RAURA - PERU - 2018*". Piura: Tesis.
- MEZA ALCANTARA, J. T. (2018). *EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LA MASA ROCOSA EN EL ANALISIS DEL MODELAMIENTO DE CUERPOS MINERALIZADOS DEL NIVEL 10 AL NIVEL 8*. Cerro De Pasco: Tesis.
- OYANGUREN, P. R. (2004). *MECANICA DE ROCAS: FUNDAMENTOS E INGENIERIA DE TALUDES*. Madrid: Red DESIR.
- PEREZ, E. C. (2015). *SOSTENIMIENTO EN COMPAÑIA MINERA CASAPALCA*. Lima: CASAPALCA.
- TAPIA CHOQUEHUANCA, J. A. (2017). *"DISEÑO Y APLICACIÓN DEL SHOTCRETE VÍA HÚMEDA COMO ELEMENTO DE SOSTENIMIENTO EN LABORES MINERAS – INPECON SAC – MINA CHIPMO CIA MINERA BUENAVENTURA UNIDAD ORCOPAMPA."*. Arequipa: Tesis.
- UNICON. (2014). *SHOTCRETE VIA HUMEDA*. Lima: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.
- VARGAS, J. A. (2011). *ANÁLISIS DEL CONCRETO LANZADO COMO REVESTIMIENTO DEFINITIVO PARA TÚNELES*. Bogota: Tesis.
- VILLANUEVA, H. S. (2012). *SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE ROBOTIZADO EN LA MINA CARAHUACRA*. Lima: Tesis.
- ZUÑIGA, C. L. (2008). *SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE VÍA HÚMEDA EN LA MINA*. Lima: Tesis.

ANEXOS



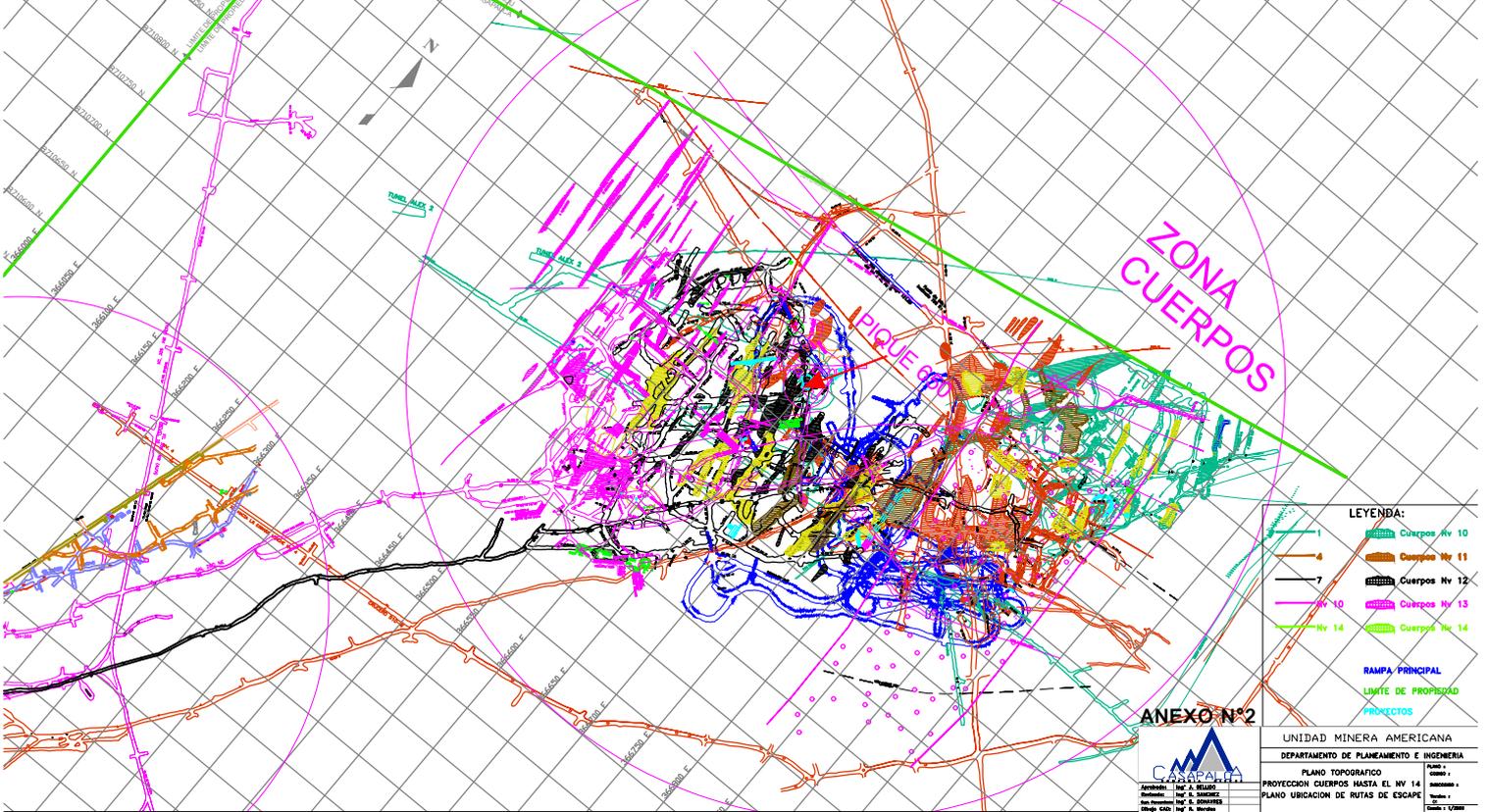
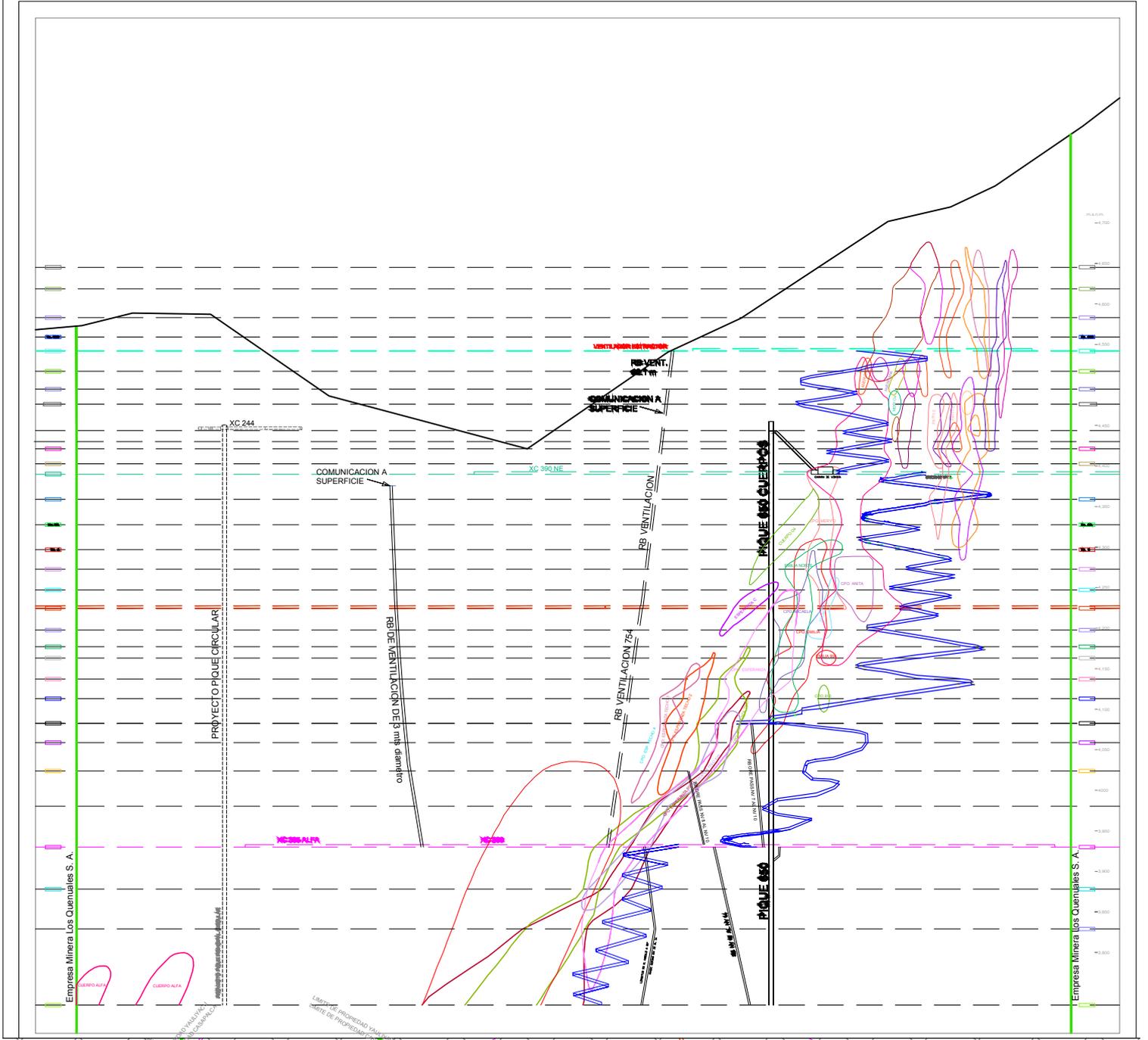
LEYENDA				
SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS		ROCAS INTRUSIVAS	
	SIMBOLOGIA	DESCRIPCION LITOLOGICA	PLUTONICAS	HIPABISALES
CUARNAICO SISTEMA	Q	Sedimentos inconsolidados	Agglomerados silíceos y silíceos	
	RB	Formación Río Blanco	Tobas, agglomerados, brechas dacíticas y andesíticas, silíceas.	
MISMIANO	BL	Formación Bellavista	Lutitas, limolitas, andesitas tobáceas.	pt Pórfido Toruque
	CF	Formación Carlos Francisco	Tufos yauylocu, Tobas rajas andesíticas	Intusivo diorítico granodiorítico
CERREJO Superior	CS	Formación Casapalca	Andesitas porfíricas y andesíticas.	
	CR	Capas Rojas	Andesitas rajas, brechas aglomeradas, andesitas finas.	
		DISCORDANCIA		
		CA	Calizas	
			Areniscas calcáreas y arcillosas	

SIMBOLOGIA	
Veta Infrada	Quebrada
Veta definida	Laguna
Falla	Carriera
Contacto definido	Concrementos
Brecha	Huaso y huaseros en cañas y setos
ALTERACIONES	
	Alteración Geotérmica
	Alteración Argílica
	Alteración Propílica



ANEXO N°1

<p>CIA MINERA CASAPALCA S.A. LIMA - PERU</p>	<p>CIA. MINERA CASAPALCA S.A. CHICLA - HUARACHIRI - LIMA JEFATURA DE GEOLOGIA</p>	
	<p>APROBADO: Ing. E. PONZONI</p> <p>GEOLOGIA: Ing. E. PONZONI</p> <p>TOPOGRAFIA:</p> <p>DIBUJO: s@cmr</p>	<p>PLANO 01</p> <p>ESCALA: 1/25,000</p> <p>FECHA: OCT / 2015</p> <p>CODIGO:</p>



	ANEXO N° 03		UEA AMERICANA
	ESTÁNDAR SOSTENIMIENTO CON SHOCRETE VIA SECA		
	Área: Mina	Versión: 003	
	Código: MIN-PETS	Página: 1 de 2	

1. OBJETIVO

- 1.1. Asegurar el trabajo seguro durante el proceso de sostenimiento con Shotcrete vía seca.
- 1.2. Tener un control adecuado en la instalación de sostenimiento de labores mineras con el uso de Shotcrete.

2. ALCANCE

- 2.1. A todas las áreas en la Unidad, donde se manipula e instala este tipo de elemento para soporte.

3. REFERENCIAS LEGALES Y TRAS NORMAS

- 3.1. Cumplir RSSO DS N.- 055-2010-EM, Título Cuarto, Capítulo I, Gestión de las Operaciones Mineras. D.S. 055 – 2010-EM (Art. 220 al Art. 226)
- 3.2. Reglamento Interno: Política de Seguridad, Salud, Medio Ambiente y Relaciones Comunitarias

4. ESPECIFICACIONES DEL ESTANDAR

- 4.1 CAMPO DE APLICACION: Tipo de labores: Permanentes.
Identificación del tipo de roca según clasificación geomecánica GSI y tabla geomecánica; para definir el tipo de sostenimiento.
Características del macizo rocoso: GSI: Intensamente Fractura regular a Mala (IF – R / M), RMR: 35-25
Contradicciones: Presencia de agua acida
- 4.2 Se deberá considerar contar con cuatro (04) personas, Un (01) líder, el cual debe contar con experiencia en lanzado de Shotcrete y tres (03) ayudantes, uno (01) de los cuales debe tener experiencia en este tipo de trabajos, y los otros dos (02) experiencia en trabajos en mina.
- 4.3 En la Unidad Minera CASAPALCA para la preparación de la mezcla de Shotcrete se utilizan: cemento, fibra de acero para vía seca, acelerante de fragua, y agregado zarandeado malla 1/8".
- 4.4 El espesor de Shotcrete a aplicar en las labores está definido en la Tabla Geomecánica de acuerdo a la calidad del macizo rocoso.
- 4.5 Para la instalación de este tipo de sostenimiento se deberá contar con los siguientes equipos y herramientas:
- 4.6 Un Juego de barretillas de 6, 8, 10 Y 12 pies; en casos especiales contar con una barretilla de 14 pies.
- 4.7 Máquina de lanzado de Shotcrete vía seca con sus respectivos accesorios.
- 4.8 Tanque dosificador.
- 4.9 Calibradores de espesor de Shotcrete.
- 4.10 Una (01) máscara facial (debe cubrir todo el rostro) y/o Lentes de seguridad con malla.
- 4.11 Dos (02) palas en buenas condiciones.
- 4.12 Lavador de ojos.
- 4.13 Un reflector en el frente de trabajo de aprox. 300 Watt.
- 4.14 El sostenimiento debe realizarse de acuerdo al avance de la labor, con sostenimiento hasta el tope.
- 4.15 Mantener una distancia de 1.5m entre la boca de la pistola de lanzado y la superficie ha Shotcretear.
- 4.16 Colocar un (01) calibrador de espesor por cada 1m2 de superficie ha Shotcrete.
- 4.17 El departamento de geomecánica debe entregar la dosificación de los materiales para preparación de la mezcla de Shotcrete.
- 4.18 El personal debe realizar la limpieza minuciosa del equipo al culminar los trabajos de lanzado de Shotcrete.

ANEXO N° 1:

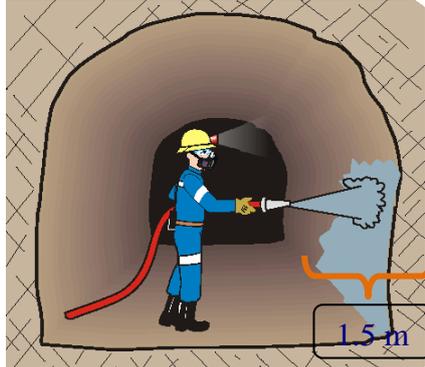
A) Diferente posicionamiento de lanzado:



PREPARADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
			
Supervisor del Área y Trabajadores	Superintendente de Mina	Gerente de Seguridad	Gerente Operaciones
Fecha : 25/08/2015	Fecha : 26/08/2015	Fecha : 27/08/2015	Fecha : 28/08/2015

	ANEXO N° 03		UEA AMERICANA
	ESTÁNDAR SOSTENIMIENTO CON SHOCRETE VIA SECA		
	Área: Mina	Versión: 003	
	Código: MIN-PETS	Página: 1 de 2	

B) Distancia de lanzado de shotcrete:



5. RESPONSABLES:

- 5.1. Los supervisores capacitar e instruir al personal el estándar.
- 5.2. Los jefes de guardia verificar el estricto conocimiento del estándar.

6. REGISTROS, CONTROLES Y DOCUMENTACION.

- 6.1 Control de calidad de la dosificación de la mezcla para realizar un buen sostenimiento

7. FRECUENCIA DE INSPECCIONES.

- Diarias (Check list), reporte diario de sostenimiento, inspecciones inopinadas.

8. EQUIPO DE TRABAJO.

- Shotcretera, comba, pico, lampa, llave stylson, barretillas.

9. REVISION Y MEJORAMIENTO CONTINUO

- 9.1. Realización de OPTs.
- 9.2. Reunión de mejoras de PETS.

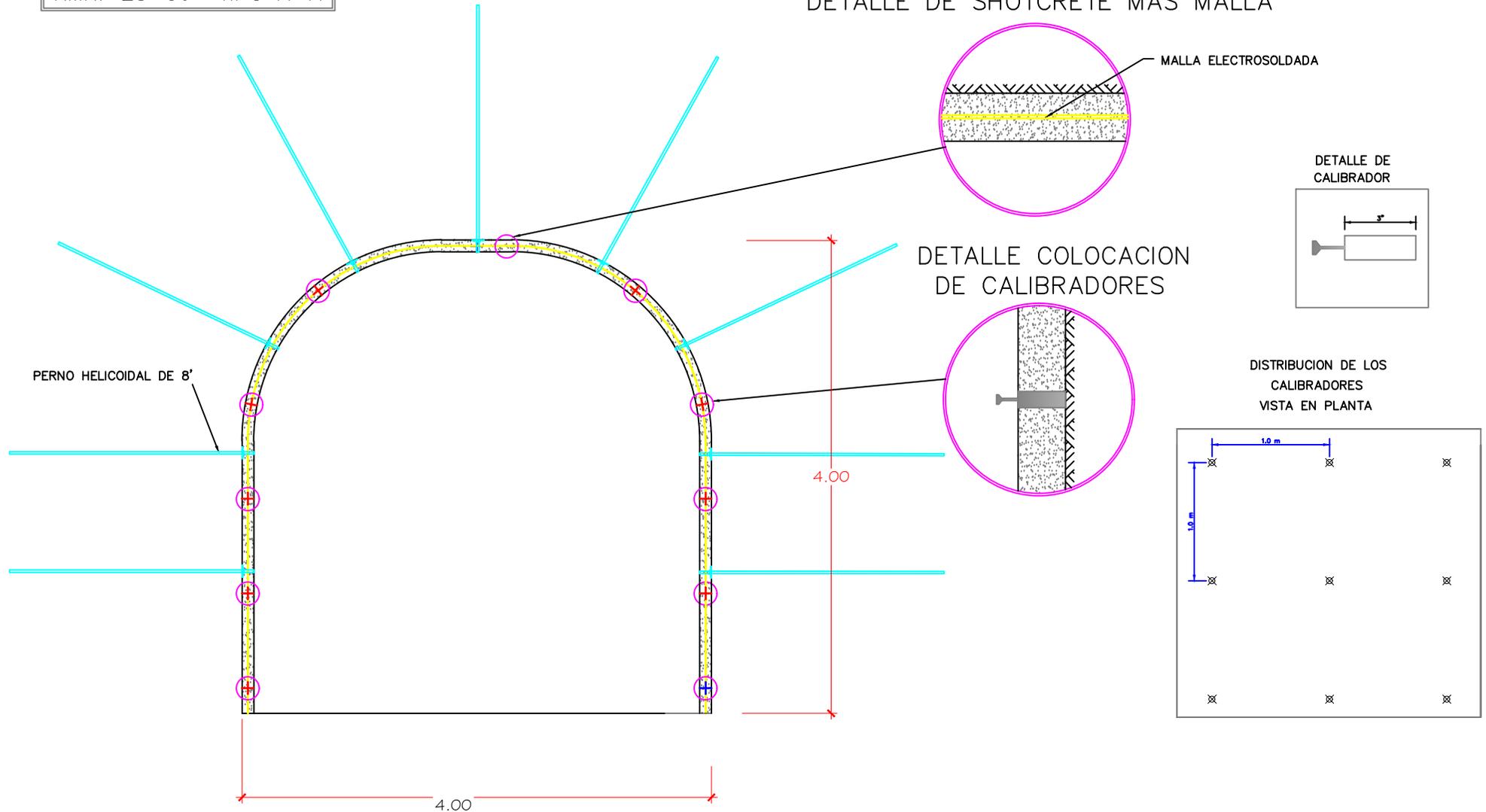
PREPARADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
			
Supervisor del Área y Trabajadores	Superintendente de Mina	Gerente de Seguridad	Gerente Operaciones
Fecha : 25/08/2015	Fecha : 26/08/2015	Fecha : 27/08/2015	Fecha : 28/08/2015

SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE MAS MALLA-SECCION 4.00x4.50

GSI: MF/P, IF/R

RMR: 28-36 TIPO IV A

DETALLE DE SHOTCRETE MAS MALLA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
RAMPA SECCIÓN 4.00 x 4.50

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

SECCIÓN DE RAMPA 4 X 4.5	DIBUJO: KLEIBER H. MUÑOZ BRAVO	LAMINA N°
	REVISADO: ASESOR	04
	FECHA: AGOSTO DE 2018	
	ESCALA: 1/25	