UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Facultad de Ingenierías

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

TESIS

OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO APLICADOS EN LABORES PERMANENTES EN UNIDADES MINERAS SUBTERRÁNEAS A PARTIR DE LA EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL MACIZO ROCOSO PREEXISTENTE.

Presentado por:

Bach. Rolando Ricardo Llerena Calle Bracamonte

Para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ

2025

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 081

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]

Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]

Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:
RESOLUCIÓN DE CONSEJO DE FACULTAD N° 317-2025-CF-FAIN-UNAM
Fecha: 17/12/25

III. El Jurado ha dictaminado la (el) TESIS, TITULADO:
OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO APLICADOS EN LABORES PERMANENTES EN UNIDADES MINERAS SUBTERRANEAS A PARTIR DE LA EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL MACIZO ROCOSO PREEXISTENTE
Bachiller: ROLANDO RICARDO LLERENA CALLE BRACAMONTE
Asesor Principal: MGR. JUAN ELÍAS ROJAS CONDORI
Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:
Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: DIECISÉIS (16) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 11:29 horas, del 23 de DICIEMBRE del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
DR. JORGE LUIS TOMÁS FLOREZ SOLAS
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
DRA. BERTHA SUSANA VERA BARRIOS
(Nombres y Apellidos)

Segundo Miembro
MSc. AGAPITO FLORES JUSTO
(Nombres y Apellidos)

Bachiller
Rolando Ricardo Llerena Calle Bracamonte
(Nombres y Apellidos)

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre por el gran ejemplo que represento en mi vida que enseñándome que el esfuerzo y la perseverancia se puede lograr todo, Gracias por ser mi soporte en cada paso que realice.

A mis queridos hermanos por las enseñarme que todo es posible si te lo propones por su valentía de enfrentar cada reto.

Extiendo la dedicatoria a mis docentes universitarios que con cada consejo, paciencia y dedicación para enseñar lo que es la ingeniería de minas lograron fortalecer mi vocación por el sector minero.

AGRADECIMIENTO

Con profundo agradecimiento, A Dios, por concederme la fortaleza, la lucidez y la constancia imprescindibles para alcanzar la culminación de este proceso esta etapa tan significativa en mi vida.

A mis padres y hermanos, les expreso mi eterna gratitud por su amor incondicional, su respaldo constante y su fe inquebrantable en mí, que fueron el motor que me impulsó a superar cada obstáculo. A toda mi familia, gracias por estar presentes con palabras de aliento y muestras de cariño que me motivaron a seguir adelante.

A la Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por constituir el espacio formativo donde se fortalecieron mis conocimientos y se consolidaron los valores fundamentales de mi desarrollo profesional mi agradecimiento por ser el espacio donde se consolidaron mis conocimientos y principios profesionales y por proporcionarme las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación.

A mi asesor, por su acompañamiento constante y su valiosa guía a lo largo del desarrollo de este trabajo, su paciencia y por compartir con generosidad su experiencia, lo cual fue fundamental para la realización de este trabajo. Extiendo mi agradecimiento a mis amigos, colegas y seres queridos por su respaldo emocional y su presencia sincera en los momentos de mayor dificultad.

RESUMEN

La investigación analiza la repercusión de las condiciones hidrogeológicas e hidroquímicas del macizo rocoso preexistente sobre la durabilidad y estabilidad del shotcrete en labores permanentes de minería subterránea de la Sierra Central del Perú. Este entorno se caracteriza por macizos fracturados, flujos subterráneos permanentes y aguas con variada mineralización, donde el desempeño del shotcrete depende tanto del diseño de mezcla como de los parámetros fisicoquímicos del agua con la que interactúa. Por ello, el estudio evalúa indicadores como pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sulfatos, dureza, tipo hidroquímico y la permeabilidad secundaria asociada a discontinuidades y estructuras geológicas. La metodología considera la revisión y análisis comparativo de cinco unidades mineras (Atacocha, Carahuacra, El Porvenir, San Cristóbal y Andaychagua), integrando clasificaciones geomecánicas, datos hidroquímicos, información operacional y criterios técnicos de sostenimiento. Los resultados evidencian que aguas con altos niveles de sulfatos, TDS o conductividades elevadas incrementan la probabilidad de fisuración, formación de etringita, lixiviación de componentes cementicios y corrosión de fibras metálicas, afectando la adherencia y capacidad de confinamiento del shotcrete. Asimismo, la presencia de discontinuidades abiertas y elevada permeabilidad secundaria favorece flujos permanentes que intensifican los mecanismos de deterioro. De acuerdo con los ambientes hidrogeoquímicos identificados, se plantean dosificaciones óptimas de shotcrete para cada unidad minera, priorizando el ajuste de contenido de cemento, uso de aditivos y fibras, control de humedad y mejora del procedimiento de proyección. Finalmente, se concluye que la consideración conjunta de la evaluación hidrogeológica y el diseño del sostenimiento permite optimizar la vida útil del shotcrete, reducir rebote y costos de mantenimiento, y mejorar la seguridad estructural de las labores permanentes.

Palabras clave: Shotcrete, hidrogeología, agua subterránea, sostenimiento minero, macizo rocoso, parámetros fisicoquímicos, durabilidad, Sierra Central del Perú.

ABSTRACT

The research analyses the impact of the hydrogeological and hydrochemical conditions of the pre-existing rock mass on the durability and stability of shotcrete in permanent underground mining operations in the Central Sierra of Peru. This environment is characterised by fractured rock masses, permanent underground flows and waters with varying mineralisation, where the performance of shotcrete depends both on the mix design and on the physicochemical parameters of the water with which it interacts. Therefore, the study evaluates indicators such as pH, electrical conductivity, total dissolved solids, sulphates, hardness, hydrochemical type and secondary permeability associated with discontinuities and geological structures. The methodology considers the review and comparative analysis of five mining units (Atacocha, Carahuacra, El Porvenir, San Cristóbal, and Andaychagua), integrating geomechanical classifications, hydrochemical data, operational information, and technical sustainability criteria. The results show that water with high levels of sulphates, TDS or high conductivity increases the probability of cracking, ettringite formation, leaching of cementitious components and corrosion of metal fibres, affecting the adhesion and confinement capacity of shotcrete. Likewise, the presence of open discontinuities and high secondary permeability favours permanent flows that intensify deterioration mechanisms. According to the hydrogeochemical environments identified, optimal shotcrete dosages are proposed for each mining unit, prioritising the adjustment of cement content, the use of additives and fibres, moisture control and improvement of the spraying procedure. Finally, it is concluded that the joint consideration of hydrogeological assessment and support design allows for the optimisation of shotcrete's useful life, reduction of rebound and maintenance costs, and improvement of the structural safety of permanent works.

Keywords: Shotcrete, hydrogeology, groundwater, mine support, rock mass, physicochemical parameters, durability, Central Highlands of Peru.

ÍNDICE

RESUMEN i

ABSTRACT ii

ÍNDICE iii

LISTA DE ABREVIATURAS Y NOMENCLATURAS viii

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1. Descripción y formulación del problema 3
1.1.1. Descripción de la realidad problemática 3
1.1.2. Formulación del problema de investigación 4
1.1.2.1. Interrogante general 4
1.1.2.2. Interrogantes específicas 4
1.1.3. Objetivos 5
1.1.3.1. Objetivo general 5
1.1.3.2. Objetivos específicos 5
1.2. Justificación e importancia 5
1.2.1. Justificación teórica 5
1.2.2. Justificación práctica 6
1.2.3. Justificación metodológica 6
1.2.4. Importancia 6
1.3. Hipótesis 7
1.3.1. Hipótesis general 7
1.3.2. Hipótesis específicas 7
1.4. Operacionalización de variables 7
1.4.1. Variable independiente 7
1.4.2. Variable dependiente 8

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO 10

2.1. Antecedentes del problema 10
2.1.1. Antecedentes internacionales 10
2.1.2. Antecedentes nacionales 14
2.1.3. Antecedentes locales 18

2.2. Bases teóricas 19
2.2.1. Hidrogeología del Macizo Rocoso en Minería Subterránea 19
2.2.1.1. Comportamiento del Flujo Subterráneo 20
2.2.1.2. Acuíferos en Labores Subterráneas 21
2.2.1.3. Propiedades Hidráulicas del Macizo Rocoso 22
2.2.1.4. Condiciones Hidrogeoquímicas en Minas de la Sierra Central 24
2.2.2. Composición Fisicoquímica del Agua Subterránea 26
2.2.2.1. Parámetros Fisicoquímicos Críticos 26
2.2.2.2. Iones Agresivos para Materiales Cementicios 31
2.2.2.3. Clasificación de Aguas Agresivas 32
2.2.2.4. Tipificación Hidroquímica del Agua Subterránea 34
2.2.3. Shotcrete Aplicado a Minería Subterránea 35
2.2.3.1. Clasificación geomecánica RMR y su relación con sostenimiento 35
2.2.3.2. Componentes Fundamentales del Shotcrete 37
2.2.3.3. Propiedades en Estado Fresco 39
2.2.3.4. Propiedades en Estado Endurecido 41
2.2.3.5. Factores que Controlan la Durabilidad 42
2.2.4. Interacciones entre Shotcrete y Agua Subterránea 42
2.2.4.1. Mecanismos de Lixiviación 43
2.2.4.2. Ataque por Sulfatos 43
2.2.4.3. Corrosión de Fibras Metálicas 44
2.2.4.4. Transporte Iónico y Difusión 45
2.2.4.5. Efectos en la Resistencia y Vida Útil 47
2.2.5. Normativa Ambiental en Minería Subterránea en el Perú 49
2.2.5.1. Normas Internacionales para Shotcrete 50
2.2.5.2. Límites Ambientales de Calidad de Agua 51
2.3. Definición de términos 52
CAPITULO III. METODOLOGÍA 56

3.1. Tipo y nivel de investigación 56
3.1.1. Tipo de Investigación 56
3.1.2. Nivel de Investigación 56
3.2. Diseño de investigación 57
3.3. Ámbito temporal y espacial 57
3.4. Población y muestra 60
3.4.1. Población 60

3.4.2. Muestra 60
3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos 61
3.6. Validación de los instrumentos 62
3.6.1. Reconocimiento de los métodos técnicos empleados en los estudios originales 62
3.6.2. Verificación interna de los documentos revisados 62
3.7. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos 63
3.7.1. Método de análisis documental y técnico comparativo 63
3.7.2. Técnicas de clasificación y síntesis de información 64
3.7.3. Método de correlación teórica y propuesta de aplicación 64
3.8. Procedimientos 65
3.8.1. Recopilación de información técnica 65
3.8.2. Organización y clasificación de la información 66
3.8.3. Análisis documental y técnico comparativo 66
3.8.4. Integración de resultados hidrogeológicos, hidroquímicos y geomecánicos 67
3.8.5. Propuesta técnica de dosificación del shotcrete 67
3.9. Análisis de datos 67
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 69
4.1. Resultados 69
4.1.1. Condiciones iniciales de las cinco unidades mineras del estudio 69
4.1.1.1. Unidad Minera Andaychagua 69
4.1.2. Dosificación final de shotcrete 76
CAPITULO V. CONCLUSIONES 87
CAPITULO VI. RECOMENDACIONES 89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 90
ANEXOS 101
Anexo 1. *Matriz de Consistencia* 101
Anexo 2. *Ficha de Seguridad para Arena* 102
Anexo 3. *Ficha de Seguridad para Cemento* 108
Anexo 4. *Ficha de Seguridad para Activador Delvo* 114
Anexo 5. *Ficha de Seguridad para Fibra Metalica* 126
Anexo 6. *Ficha de Seguridad para Fibra Sintetica* 129

Anexo 7. *Ficha de Seguridad para Master Glenium* 135
Anexo 8. *Ficha de Seguridad para Sigunit (Acelerante)* 137
Anexo 9. *Ficha de Seguridad para Viscocrete (Plastificante)* 148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables. 9
Tabla 2. Cuadro Conceptual por Parametros 24
Tabla 3. Clasificación de pH 27
Tabla 4. Clasificación de Conductividad Electrica 28
Tabla 5. Clasificación de TDS 28
Tabla 6. Clasificación de Solidos Totales Disueltos 30
Tabla 7. Clasificación de Aguas Agresivas Según Parámetros Químicos 33
Tabla 8. Clasificación RMR 36
Tabla 9. Composición Estándar de Shotcrete 37
Tabla 10. Compatibilidad del shotcrete con condiciones hidroquinona 47
Tabla 11. Dosificación del shotcrete – Unidad Minera Andaychagua 70
Tabla 12. Dosificación del shotcrete – Unidad Minera San Cristóbal 71
Tabla 13. Dosificación del shotcrete – Unidad Minera Carahuacra 72
Tabla 14. Dosificación del shotcrete – Unidad Minera El Porvenir (Milpo) 73
Tabla 15. Dosificación del shotcrete – Unidad Minera Atacocha 74
Tabla 16. Comparación de condiciones iniciales de las unidades mineras 75
Tabla 17. Dosificación final – Mina Carahuacra (por m^3) 78
Tabla 18. Porcentaje de rebote por mixer 78
Tabla 19. Dosificación final – Mina San Cristóbal (por m^3) 79
Tabla 20. Porcentaje de rebote por m2 79
Tabla 21. Dosificación final – Mina Andaychagua (por m^3) 80
Tabla 22. Porcentaje de rebote por mixer 80
Tabla 23. Dosificación final – Mina El Porvenir (por m^3) 81
Tabla 24. Porcentaje de rebote por mixer 81
Tabla 25. Dosificación final – Mina Atacocha (por m^3) 82
Tabla 26. Porcentaje de rebote Unidad Minera Atacocha 82
Tabla 27. Comparativo general de dosificaciones por unidad minera (kg/m^3) ... 84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de las unidades mineras 20
Figura 2. Esquema de Tipos de Acuíferos 22
Figura 3. Componentes de un equipo robotizado para shotcrete (vía húmeda) .. 39

LISTA DE ABREVIATURAS Y NOMENCLATURAS

Abreviaturas:

ACI: American Concrete Institute

ANA: Autoridad Nacional del Agua

APHA: American Public Health Association

ASTM: American Society for Testing and Materials

Ca^{2+}: Ion Calcio

CE: Conductividad Eléctrica

C-S-H: Silicato de Calcio Hidratado

DAM: Drenaje Ácido de Mina

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

EDS: Espectroscopía de Dispersión de Energía

GSI: Geological Strength Index

Mg^{2+}: Ion Magnesio

M-S-H: Silicato de Magnesio Hidratado

Na_2SO_4: Sulfato de Sodio

NaCl: Cloruro de Sodio

OD: Oxígeno Disuelto

pH: Potencial de Hidrógeno

RMR: Rock Mass Rating

SEM: Microscopía Electrónica de Barrido

SFRS: Shotcrete Reforzado con Fibras de Acero

TDS: Total de Sólidos Disueltos

Nomenclaturas:

K: Conductividad hidráulica del macizo rocoso

S: Coeficiente de almacenamiento hidráulico

h: Carga hidráulica

Q: Caudal de flujo subterráneo

L: Longitud o espesor (según el parámetro descrito en el documento)

µS/cm: Unidad de conductividad eléctrica

mg/L: Miligramos por litro

ppm: Partes por millón

°C: Grados Celsius

%: Porcentaje

INTRODUCCIÓN

La estabilidad de las excavaciones subterráneas en minería depende, en gran medida, de seleccionar y utilizar correctamente los sistemas de sostenimiento, siendo el shotcrete una de las técnicas más comúnmente empleadas en la Sierra Central del Perú, gracias a la rapidez de su aplicación, la capacidad de confinamiento inmediato y su adaptación a condiciones geomecánicas complejas. Sin embargo, en este entorno geológico, definido por presencia de macizos intensamente fracturados, secuencias carbonatadas, mineralización polimetálica y afluentes de aguas subterráneas, la interacción entre el shotcrete y el agua cobra un papel determinante en la vida útil y en la técnica de sostenimiento.

La calidad fisicoquímica del agua subterránea reviste a parámetros como pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sulfatos, dureza, metales disueltos, etc. puede hacer que la proyección del material y su posterior comportamiento varíen considerablemente, estas condiciones pueden hacer que se modifiquen la gente los procesos de lixiviación, de formación de compuestos expansivos, de corrosión de fibras metálicas, de pérdida de adherencia con el macizo y de una disminución acelerada de la resistencia estructural. Por tanto, la durabilidad del shotcrete y su capacidad de confinamiento no dependen exclusivamente del diseño de la mezcla y del método de aplicación, sino también de la evaluación hidrogeológica previa al macizo rocoso.

La presencia de acuíferos fisurados, zonas de recarga activa y discontinuidades interconectadas en las unidades mineras de Atomoca, Carahuacra, El Porvenir, San Cristóbal y Andaychagua propicia el ingreso de agua hacia las labores permanentes, lo que activa condiciones de humedad y agresividad iónica que afectan la estabilidad de las labores y el sostenimiento, por ende, plantear la caracterización del agua subterránea y de su comportamiento en interacción con el shotcrete, además de la búsqueda de criterios técnicos involucrados para seleccionar las dosificaciones más idóneas y los aditivos más adecuados a partir de las condiciones locales.

De ahí que esta investigación pretenda evaluar la influencia de los parámetros hidrogeológicos e hidroquímicos del macizo rocoso existente sobre el comportamiento del shotcrete en el marco del análisis comparativo de cinco

unidades mineras representativas de la Sierra Central, así como establecer las dosificaciones de sostenimiento que mejoran la durabilidad, minimizan el rebote, las operaciones y que permiten un buen comportamiento frente ambientes hidrogeoquímicos agresivos.

El estudio incorpora información relacionada con la hidroquímica, la clasificación geomecánica, el análisis de documentación, los resultados experimentales descritos y los criterios técnicos del diseño, lo que facilita la elaboración de relaciones causa–efecto entre las condiciones del macizo y el comportamiento del shotcrete utilizado. Finalmente, la investigación ofrece líneas orientadoras para la optimización del sostenimiento permanente, que mejoran la seguridad laboral, la eficiencia operativa y la gestión ambiental en minería subterránea.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Descripción y formulación del problema

1.1.1. Descripción de la realidad problemática

En las labores subterráneas de la Sierra Central del Perú, el shotcrete se ha consolidado como uno de los sistemas de sostenimiento más empleados, debido a su rápida aplicación y una efectiva estabilización del macizo rocoso en el contexto de los trabajos de explotación minera. Sin embargo, la continua interacción entre el shotcrete y las aguas subterráneas, las cuales suelen presentar composiciones químicas que se distinguen de manera notable unas de otras, promete ser un escenario complejo y problemático, ya que el shotcrete se puede transformar en una fuente secundaria de contaminación al ir liberando iones y metales hacia el agua de las aguas subterráneas, pero a su vez, esas aguas subterráneas, que presentan características hidroquímicas agresivas van, a largo plazo, en detrimento de la calidad y de la resistencia del sostenimiento.

Recientes estudios han confirmado que la disolución de los componentes del shotcrete como los metales componentes (aluminio, hierro, zinc, plomo) pueda suponer un impacto ambiental al incrementar el contaje contaminante de los acuíferos confinados y de los manantiales que rodean las actividades de la minería. Los elevados valores de conductividad, acidez, sólidos totales disueltos (TDS), sulfatos en agua subterránea, inducen reacciones expansivas y corrosivas para la durabilidad del material proyectado, lo que acorta la duración de las labores en el plano subterráneo, aumenta el riesgo de sufrir un colapso estructural, y, en término, aumenta los costes debido al reforzamiento o la sustitución del sostenimiento anticipadamente averiado.

En el plano ambiental, el hecho de liberar metales pesados y variaciones químicas en el efluente subterráneo afecta notoriamente el agua, deteriorando los ecosistemas hídricos locales y con un potencial de alterar la calidad del agua que puede ser utilizada por la comunidad para su consumo o actividades productivas. A nivel operativo, la pérdida de la capacidad estructural del shotcrete implica riesgos para el trabajador de la mina y para la continuidad de la operación minera.

A la luz de esta realidad, resulta clave una evaluación exhaustiva de la hidrogeología del macizo rocoso, antes de la implementación de sostenimientos permanentes. La caracterización de las propiedades físicas y químicas del agua subterránea servirá para definir aquel shotcrete, la dosificación de sus componentes e incluso los métodos de aplicación, que sean los más correctos para cada caso. De esta forma, se logrará una mayor durabilidad del sostenimiento, una menor carga ambiental por lixiviados contaminantes y unas labores mineras más seguras y sostenibles.

El desarrollo de estudios orientados a este propósito no solo contribuirá a la correcta gestión técnica de los sistemas de sostenimiento, sino también a la solidez de las prácticas mineras, alineadas con la protección de los recursos hídricos y el compromiso de las labores subterráneas en la Sierra Central del Perú.

1.1.2. Formulación del problema de investigación

A partir de la problemática identificada, surge la necesidad de plantear una pregunta central acompañada de interrogantes específicas que orienten los objetivos e hipótesis del estudio, de modo que se logre un enfoque coherente y aplicable a las condiciones reales de la Sierra Central del Perú.

1.1.2.1.Interrogante general

¿Cómo influye la evaluación hidrogeológica del macizo rocoso preexistente en la estabilidad del sostenimiento aplicado en labores permanentes de unidades mineras subterráneas?

1.1.2.2.Interrogantes específicas

I.E 1. ¿Cuál es el tipo de sostenimiento adecuado para labores permanentes en unidades mineras subterráneas a partir de lanzamiento de shotcrete que garantice la estabilidad del macizo rocoso?

I.E. 2. ¿Cuál es la composición química que comprende a los parámetros fisicoquímicos del agua residual (conductividad, la dureza, el total de sólidos disueltos - TDS y el pH) en el macizo rocoso preexistente en unidades mineras subterráneas?

1.1.3. Objetivos

1.1.3.1. Objetivo general

Realizar la evaluación hidrogeológica del macizo rocoso preexistente para garantizar la estabilidad del sostenimiento aplicado en labores permanentes de unidades mineras subterráneas.

1.1.3.2. Objetivos específicos

O.E 1. Establecer el tipo de sostenimiento adecuado para labores permanentes en unidades mineras subterráneas a partir de la dosificación de shotcrete que garantice la estabilidad del macizo rocoso.

O.E 2. Analizar la composición química que comprende los parámetros fisicoquímicos del agua residual (conductividad, la dureza, el total de sólidos disueltos - TDS y el pH) para garantizar la estabilidad del macizo rocoso en las labores permanentes de unidades mineras subterráneas.

1.2. Justificación e importancia

1.2.1. Justificación teórica

La presente investigación se basa en la necesidad de conjugar conocimientos de hidrogeología, geoquímica y geomecánica para explicar de un modo sistémico la interacción agua–shotcrete en macizos rocosos de la Sierra Central del Perú. Existe un vacío en la literatura aplicada que cuantifique el modo en cómo las propiedades fisicoquímicas del agua subterránea (pH, sulfatos, TDS, conductividad, metales disueltos) afectan los procesos de lixiviación y degradación del shotcrete, y cómo estos efectos inciden en la estabilidad del macizo. Mediante la generación de evidencia empírica y la propuesta de modelos de comportamiento, esta investigación aporta al establecimiento de un marco teórico multidisciplinar que pone en relación la durabilidad del material proyectado con la dinámica hidroquímica local, aportando material para futuras investigaciones y para la optimización de criterios de diseño en minería subterránea.

1.2.2. Justificación práctica

De acuerdo desde una perspectiva operativa y ambiental, los resultados esperados permitirán determinar las dosificaciones, los tipos de shotcrete y los procedimientos de aplicación más adecuados, compatibles con las condiciones hidroquímicas reales en cada unidad minera que tengamos que afrontar; se traducirá en mayores vidas útiles del sostenimiento, menor frecuencia de reparaciones y refuerzos, menor riesgo de fallas en labores permanentes y menores costos de operación. De otra parte, la caracterización muy detallada y muy estricta de los efluentes y su relación con el shotcrete permitirán acercarse a la detección preventiva de riesgos de contaminación de acuíferos, mejorarán la toma de decisiones de las empresas mineras y de los organismos reguladores y la protección de la disponibilidad de agua para las comunidades locales.

1.2.3. Justificación metodológica

El proyecto presenta un diseño integrador que propone una combinación de muestreo hidroquímico en campo, caracterización geomecánica del macizo, ensayos de laboratorio (simulación de contacto agua–shotcrete) y análisis estadístico y modelado matemático. Esta combinación metodológica multiplica la evidencia para garantizar la validez interna y la validez externa de los resultados: los datos de campo proporcionan representatividad espacial y temporal; los ensayos de laboratorio permiten aislar variables determinantes en la caracterización de mecanismos de reacción; y el modelado nos da la capacidad de generalizar comportamientos y de anticipar situaciones. El uso de técnicas analíticas sensibles (p. ej., análisis de metales trazas) y de herramientas estadísticas multivariadas nos permite un tratamiento robusto de la información y genera expectativas de posibilidad de reproducibilidad de los resultados por parte de terceros responsable.

1.2.4. Importancia

El estudio posee relevancia en tres aspectos específicamente: científica, técnica y social. En el aspecto científico debido a que ofrece un aporte novedoso al vincular la durabilidad del shotcrete con la hidroquímica de acuíferos confinados y al proponer modelos predictivos aplicables a contextos similares. En el aspecto técnico debido a que entregará pautas prácticas para mejorar el diseño de los

sostenimientos permanentes, como para los protocolos de muestreo y de monitoreo de los efluentes. En términos sociales para ambientales, garantiza la protección de los recursos de agua y la minimización de los impactos que las operaciones mineras podrían tener sobre las comunidades de la Sierra Central. Por último, sus resultados podrán ser una fuente de información para las recomendaciones a las normativas y a las buenas prácticas operativas, lo cual es clave para una actividad de minería subterránea más segura, sostenible y responsable

1.3.Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

La correcta evaluación hidrogeológica del macizo rocoso preexistente realizado en labores permanentes de unidades mineras subterráneas garantizará la estabilidad y durabilidad del sostenimiento aplicado en dichas labores.

1.3.2. Hipótesis específicas

H.E.1. La adecuada elección del tipo de sostenimiento para labores permanentes en unidades mineras subterráneas a partir de la dosificación de shotcrete garantizarán la estabilidad del macizo rocoso.

H.E.2. El análisis riguroso de la composición química que comprende los parámetros fisicoquímicos del agua residual (conductividad, la dureza, el total de sólidos disueltos - TDS y el pH) acreditarán la estabilidad del macizo rocoso en las labores permanentes de unidades mineras subterráneas.

1.4.Operacionalización de variables

1.4.1. Variable independiente

Evaluación hidrogeológica del macizo rocoso.

Es un proceso clave para la comprensión de la dinámica del agua subterránea en las excavaciones mineras; basada en caracterizar las propiedades hidráulicas del macizo, discriminar acuíferos confinados y semiconfinados, determinar la permeabilidad y el régimen de flujo subterráneo, y caracterizar las condiciones de humedad del entorno geológico. El análisis del agua subterránea es

válido para identificar zonas afectadas por procesos de deterioro del sostenimiento, ya que de la misma forma que el agua subterránea interviene en la descomposición de los materiales de un sostenimiento, como por ejemplo del shotcrete, es válida para elaborar previsiones de riesgo, optimizar los diseños de los sostenimientos permanentes y establecer criterios en el drenaje y los controles de prevención de la inestabilidad de las labores mineras.

1.4.2. Variable dependiente

Sistemas de sostenimiento de labores permanentes.

La base de esta variable se encuentra en la necesidad de garantizar tanto la estabilidad estructural como la seguridad de la operación de las excavaciones subterráneas. Los sistemas de sostenimiento, como el shotcrete, los pernos de roca y las soluciones mixtas, dependen directamente de las condiciones geotécnicas e hidrogeológicas del macizo rocoso en el que se utilizan. Su capacidad de funcionamiento se verá determinada por factores tales como la dosificación del shotcrete, la calidad de los materiales, la interacción con el agua subterránea y la evolución de los parámetros fisicoquímicos del entorno. Esta combinación de factores puede generar variaciones en la resistencia mecánica, la adherencia y la durabilidad del sostenimiento. Por ello, el entendimiento del vínculo entre el medio hidrogeológico y el comportamiento del sostenimiento facilitará el establecimiento de mejores criterios de diseño, el desarrollo de mejores prácticas de instalación y un programa de inspección y mantenimiento orientado a la prolongación del funcionamiento de las labores permanentes.

A continuación, se concreta en la Tabla 1 referida a la operacionalización de variables: los indicadores, las dimensiones y las formas de medición que se utilizarán para la evaluación de cada variable del presente estudio.

Tabla 1.

Operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidades de medición
VI: Evaluación hidrogeológica del macizo rocoso	Análisis de parámetros fisicoquímicos para evaluar la calidad del agua residual y su posible alteración debido al contacto con la roca preexistente.	- Propiedades físicas del agua - Propiedades químicas del agua	- Conductividad eléctrica - Turbidez - pH del agua - Demanda Química de Oxígeno (DQO) - Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	- µS/cm - NTU - Escala Ph - mg/L - mg/L.
VD: Sistemas de sostenimiento de labores permanentes	Uso del shotcrete como método de sostenimiento en minería subterránea, cuya aplicación puede generar efectos fisicoquímicos en los efluentes subterráneos.	- Calidad y tipo de shotcrete - Dosificación aplicada - Método de aplicación	- Tipo de shotcrete (estructural, reforzado, convencional), - Porcentaje de rebote, - Composición de mezcla (cemento, fibras, aditivos)	- Categórica - % de rebote - % por componente

Nota. Elaboración propia.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1.Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Yang et al. (2025), en su estudio titulado Ley de degradación y estudio experimental del hormigón proyectado de alto rendimiento expuesto a la acción combinada del sulfato y la sal cloruro, llevaron a cabo el estudio de la degradación del shotcrete de alto rendimiento, expuesto de manera simultánea al sulfatos y las disoluciones de cloruros, simulando las condiciones agresivas que pueden presentarse en el agua subterránea en los túneles. El procedimiento fue de ámbito experimental, en el que las probetas, proyectadas por vía húmeda, fueron sumergidas en soluciones de Na_2SO_4 y NaCl durante un periodo de 360 días, evaluando la pérdida de masa, la resistencia a compresión, la difusión de sulfatos y los cambios microestructurales mediante SEM y EDS. Los resultados obtenidos evidencian una degradación que sigue un proceso de tres etapas, una primera de densificación, expansión de productos de corrosión y, por último, una tercera de fisuración que reduce la durabilidad del shotcrete. Concluyeron que la composición química del agua y el tipo de aplicación son los parámetros que inciden de manera directa en la resistencia y la permeabilidad del sostenimiento. Este estudio se relaciona con el presente en el sentido de que ha evaluado el efecto de las condiciones hidroquímicas del macizo rocoso para la selección de las técnicas de materiales de shotcrete más durables y resistentes al agua subterránea agresiva.

Naiborhu et al. (2024), en su investigación titulada Estimación del flujo de agua subterránea en las obras mineras subterráneas utilizando un modelo hidrogeológico 3D, tenían la intención de estudiar la influencia de los parámetros hidrogeológicos en la forma de comportarse el flujo subterráneo en la veta Kubang Cicau, utilizando un modelo hidrogeológico tridimensional y la sensibilidad de las variables en la investigación, concluyendo que la conductividad hidráulica del macizo rocoso es el parámetro más influyente, con una predicción de la descarga máxima, alcanzando hasta 87 L/s. Este último estudio puede correlacionarse con la investigación presentada, ya que muestra que una correcta evaluación

hidrogeológica es muy importante para poder planificar las medidas de drenaje y el diseño del sostenimiento con grandes caudales de agua.

Manquehual et al. (2023), en su estudio titulado Investigación de la lixiviación en hormigón proyectado reforzado con fibras de acero expuesto a agua subterránea dulce y salina en un túnel de carretera submarino, tuvieron como objetivo analizar los procesos de deterioro y lixiviación del shotcrete reforzado con fibras de acero (SFRS) sometido a la exposición de condiciones de agua subterránea dulce y salada en un túnel submarino del Rogfast, en el país nórdico de Noruega. La investigación tuvo un tipo experimental y aplicado en el que se consideró el impacto de la exposición prolongada del SFRS a ambos tipos de agua subterránea para valorar la pérdida de masa, la variación de la densidad del material, el incremento de la porosidad y la evolución de la microestructura del material (shotcrete). Se observó la progresiva disolución de los componentes cementicios mediante ensayos de laboratorio y análisis petrográficos, especialmente en las zonas expuestas al agua salina, provocando la aparición de microfisuras, la reducción de la resistencia y la corrosión localizada de las fibras metálicas. Los autores del estudio concluyeron que tanto la composición química como la salinidad del agua tiene una influencia directa sobre la durabilidad del sostenimiento, acelerando los procesos de degradación y de pérdida de capacidad estructural.

Qiu et al. (2023), en su investigación titulada Características de corrosión de pernos de anclaje de acero con bajo contenido de carbono en un entorno de lutita carbonosa, se estudiaron los perjuicios de la corrosión en pernos de anclaje de acero al carbono en condiciones de alta humedad y suelos con bajo pH. Mediante ensayos electroquímicos acelerados y observaciones metalográficas se analizaron la pérdida de masa, la cuota de corrosión y la degradación de la adherencia entre el acero y el mortero cementicio. Los autores llegaron a la conclusión de que la alta acidez del entorno natural junto a la presencia de agua subterránea de carácter mineralizado incrementaba significativamente la corrosión, lo que ponía en entredicho la estabilidad del sostenimiento de roca. Por esta razón, recomendaron el empleo de cementos resistentes a la corrosión y shotcrete con adición de aditivos inhibidores de corrosión para incrementar la resistencia al agua agresiva. Esta investigación es paralela a la realizada en este trabajo, ya que también muestra el

papel que juega el shotcrete no solo como ámbito estructural sino que incluso también como una muy importante barrera química en situaciones subterráneas con ambientes de gran agresividad hidroquímica.

Tian et al. (2022), en su estudio titulado Estudio sobre las características de daño por fractura de una interfaz roca-hormigón proyectado sometida a agua corrosiva, su objetivo fue evaluar cuáles son los mecanismos de daño de la interfaz roca-hormigón proyectado, cuando se encuentran en contacto con agua corrosiva, con sulfatos y baja alcalinidad. En dicho estudio, se llevaron a cabo ensayos experimentales en probetas sumergidas durante mucho tiempo en una solución agresiva para identificar la pérdida de adherencia, la fisuración y el daño por efectos de la reacción química del hormigón proyectado con ciertas características. Para esto, realizaron ensayos de cohesión a tracción y microscopía. Como resultados, aportaron que la "agua escasa" potencia inmediatamente una degradación importante de la interfaz roca-hormigón proyectado, incluso reduciendo la eficacia portante de la roca o reduciendo la vida del sostenimiento. En este sentido, la investigación corresponde con el trabajo realizado, ya que demuestra que la composición química del agua de la zona es un factor dominante en la durabilidad del hormigón proyectado, profundizando en la importancia de valorar la hidroquímica como una parte muy importante de la introducción para el diseño del sistema de sostenimiento.

Zhang et al. (2022), en su estudio titulado La influencia de los diferentes materiales cementosos en la autorreparación de microfisuras en el hormigón proyectado, tuvieron como objetivo analizar el efecto de los diferentes materiales cementicios en la capacidad de autorreparación de microfisuras en el shotcrete, en especial bajo condiciones de exposición al agua subterránea. Para ello, realizaron ensayos experimentales en probetas de shotcrete a partir de diferentes proporciones de cenizas volantes y polvo mineral, a las cuales se les aplicaron ciclos de inmersión en agua y las evaluaron a partir de pruebas de porosidad y microscopía electrónica. Con ello, determinaron que al formarse etringita y otros productos de hidratación secundarios se permite el sellado parcial de microfisuras, disminuyendo la permeabilidad y aumentando la durabilidad del material. Concluyeron que la composición del cemento y el tipo de aditivos afectan a la capacidad del shotcrete

de resistir ambientes húmedos agresivos. Existe una relación considerable entre el presente estudio y el de Zhang et al. (2022) en tanto que las pruebas realizadas pusieron de manifiesto que la interacción agua-material es determinante en la vida útil del sostenimiento, reafirmando la necesidad de tener en cuenta las condiciones hidrogeológicas del macizo rocoso en el diseño de shotcrete.

Frontiers et al. (2022), en su estudio titulado Numerical Simulation of Long-Term Deterioration of Rock Mass Supported by Shotcrete Lining, estudio cuyo objetivo era analizar cómo la degradación progresiva tanto del macizo rocoso como del shotcrete se convierte en un factor determinante en la seguridad de túneles a largo plazo. Para ello, desarrollaron un modelo numérico en 3D (método de diferencias finitas) que simula la degradación no lineal del macizo (debilitar los parámetros mecánicos) y también del shotcrete (debilitar el espesor y la capacidad de soporte) de tal manera que se pueden monitorear desplazamientos, presión del macizo y el factor de seguridad a largo plazo. Los resultados indicaron que la degradación del macizo rocoso es la responsable de la perdida de seguridad, con decrecimientos en el factor de seguridad de hasta ~85 %, y aumentos de desplazamientos de 0 a unos 14 mm conforme avanza la degradación. Este antecedente se asocia al desarrollo de la presente investigación debido a que enfatiza la necesidad de considerar en la evaluación hidrogeológica aquellos posibles efectos del agua o de otros agentes que aceleren las degradaciones tanto del macizo como del shotcrete para así garantizar que la durabilidad de los sostenimientos permanentes.

Tong et al. (2021), en su trabajo Propiedades mecánicas del shotcrete de fibra de basalto en ambientes de alta geotermia, tuvieron como propósito evaluar el comportamiento del shotcrete reforzado en condiciones de elevada temperatura y humedad, el objetivo perseguido fue evaluar el comportamiento y las propiedades del shotcrete reforzado en condiciones de alta temperatura y con elevadas condiciones de humedad. El mismo fue un estudio empírico que consistió en someter probetas de shotcrete sin fibra de basalto y con fibra de basalto en condiciones geotérmicas controladas. Los resultados revelaron que el shotcrete en condiciones de alta geotermia pierde propiedades; no obstante, el mismo complemento con fibra de basalto redujo esa pérdida de resistencia y pareció ofrecer

ductilidad. El estudio es cercano al presente, pues demuestra que la dosis de un shotcrete debe hacer referencia a las propiedades del agua (temperatura y humedad) para permitir la estabilización de las labores subterráneas.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Flórez (2024), en su investigación Modelo matemático de la composición de las aguas residuales en los acuíferos a partir del lanzamiento de “shotcrete” en unidades mineras subterráneas ubicadas en la sierra central del Perú, 2024, desarrolló un modelo predictivo para determinar la influencia que tiene la composición química del agua en la durabilidad del shotcrete. Con este fin, se combinó información hidrogeológica con los resultados de un análisis de laboratorio para simular reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, concluyendo que los iones sulfato y cloruro que se pueden encontrar en las aguas subterráneas son los principales responsables de la pérdida de adherencia y la fisuración del shotcrete. Este artículo está directamente relacionado con el trabajo que nos proponemos desarrollar, puesto que establece la importancia que tiene la evaluación hidroquímica previa como frente a las características de diseño de sistemas de sostenimiento que sean perdurables.

Martínez y Huarcaya (2023), en su tesis titulada Optimización en el consumo de shotcrete mejorando el control de flujo del agua en el subnivel 274 de la Unidad Minera Ticlio, establecieron como objetivo principal el poder reducir el exceso del uso de la materia prima shotcrete a través del control del flujo de agua de los frentes subterráneos, para ello establecieron el desarrollo de una propuesta a partir de un estudio aplicado donde se incluyen mediciones de caudal, ensayos RMR y la implementación de drenajes horizontales los cuales permiten establecer un parámetro de comparación en los consumos de shotcrete antes y después de la implementación de la propuesta. La conclusión llegó a indicar que la presencia de filtraciones incrementa considerablemente la cantidad de material proyectado y afecta el anclaje de este con el macizo rocoso. Este estudio tiene plena relación con el presente ya que se concluye la gestión hidrogeológica y su incidencia en la eficiencia y durabilidad del sistema de sostenimiento.

Espinoza (2023), en su tesis Implementación de shotcrete vía húmeda semi-mecanizado para mejorar la eficiencia del sostenimiento en la Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi, tuvo como finalidad fundamental la mejora de la eficiencia del sostenimiento a través de un método de aplicación mecanizada del shotcrete. Para ello, se realizó un estudio comparativo del método semi-mecanizado frente al método convencional, por medio de análisis de los tiempos de aplicación, el consumo de material y la resistencia del shotcrete al final de la aplicación. Obtuvieron buenos resultados ya que se produce una reducción significativa de desperdicio y también se produce una mejor uniformidad del recubrimiento, llegando a mostrarse sus mejores resultados especialmente en frentes húmedos. Su relación con la investigación está dada en que demuestra que las condiciones hidrogeológicas del frente afectan la eficiencia del procedimiento de aplicación del shotcrete.

Guizado (2023), en su estudio Dosificación de la fibra sintética y su influencia en el tipo de sostenimiento subterráneo en la Cía. Minera Kolpa S.A., tuvo como objetivo el evaluar dicha influencia en la ductilidad, control de fisuración y desempeño del shotcrete despachado por vía húmeda para unidades mineras con labores subterráneas, cumpliendo así con la formulación de la pregunta de investigación. El enfoque para lograr este objetivo fue el experimental y aplicado, incorporando ensayos de compresión, ensayos de flexión y seguimiento del shotcrete en el campo en labores donde existió un registro de humedades y filtraciones. La conclusión fue que el uso de una adecuada dosificación de fibra sintética mejora el control de fisuración y la durabilidad superficial del recubrimiento en frentes húmedos, y que adicionalmente puede optimizar el espesor de aplicación en algunos escenarios. Este estudio se conecta con la presente investigación porque provee criterios para el diseño material que enriquecen la evaluación hidrogeológica para optimizar sostenimientos.

Quispe (2022), en su trabajo titulado Análisis de la dosificación en el diseño de shotcrete, presenta una propuesta que consiste en determinar si las dosificaciones de cemento de las operaciones mineras peruanas están sobredimensionadas y de qué manera esto afecta costes y el rendimiento frente a condiciones de humedad. La metodología que siguió incluye ensayos de compresión en probetas extraídas de

obras reales, un análisis estadístico de resultados y la comparación de estos con lo especificado en el diseño; pero también ha considerado las variables de la mezcla, aditivos y condiciones de curado. Los resultados mostraron que en algunas de las mezclas las resistencias requeridas son ampliamente superadas (77–89 % por encima del F'c de diseño en ciertos casos) y que hay potencial de mejora de la dosificación sin perder la seguridad de la misma, siempre y cuando haya un control de la humedad del frente y de la preparación superficial. Este trabajo apoya la presente investigación, ya que apoya la búsqueda de dosificaciones optimizadas que se relacionan con la que se obtenga en la evaluación hidrogeológica del macizo

Salvador et al. (2022), en el artículo titulado Proporciones de mezcla de hormigones proyectados: revisión bibliográfica sistemática, establecieron como objetivo sistematizar los criterios que se utilizan en la dosificación de hormigones proyectados (shotcrete) identificando aquellos factores que afectan el desempeño y la durabilidad de estos (la posible relación agua-cemento, los aditivos, las fibras, el método de aplicación). La metodología del artículo consistió en una revisión sistemática de la literatura y en la realización de campañas experimentales de validación (ensayos a escala de laboratorio y parámetros de control de calidad) formulando recomendaciones de mezcla a partir de las condiciones de obra. Los resultados obtenidos destacan que las variables operativas y del frente (humedad, preparación de la superficie, dirección del chorro) y la selección de los aditivos condicionan la porosidad, la penetración de iones y la resistencia a largo plazo. Este antecedente es importante para la investigación ya que constituye una buena base técnica y también criterios de dosificación que deberían ajustarse por tanto para la evaluación hidrogeológica del macizo con el fin de lograr sostenimientos optimizados.

Herrera (2021) mencionado en su tesis Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento del túnel de exploración Chaquicocha Fase II - Minera Yanacocha SRL, 2018, tuvo como propósito principal obtener criterios de sostenimiento sustentados en geomecánica de clasificación (RMR/GSI) y recomendaciones de shotcrete y pernos para secciones geomecánicas de macizo con distinta calidad. Para ello se aplicó una metodología que se soportó en la conjunción de elementos como mapeo geológico, caracterización de discontinuidades, ensayos

in situ y diseño de sostenimiento por secciones; también se incluía recomendaciones a ser aplicadas en frentes en condiciones de humedad y filtraciones. Los resultados ofrecieron conductas del sostenimiento (shotcrete 2" reforzado con fibra sintética, pernos Split Set, malla electrosoldada) categorizados según la calidad del macizo y condiciones de agua, los cuales permitieron reducir la incertidumbre del diseño en labores permanentes. Esta investigación es relevante para el caso puesto que muestra cómo debe unirse la caracterización geomecánica a la identificación de las condiciones de humedad para así optimizar los sistemas de sostenimiento.

Huamán (2021), en su tesis titulada "Análisis técnico-económico del uso del shotcrete en las labores subterráneas para la reducción de los costos de sostenimiento en el consorcio Minero Horizonte S. A. - 2020", tuvo como objetivo determinar las variables técnicas y económicas que intervienen en el costo total del sostenimiento. Al comparar diferentes mezclas y condiciones de aplicación, se llegó a la conclusión de que una correcta planificación de los tipos de shotcrete según la humedad y el tipo de roca permite reducir drásticamente los costos. Esta investigación guarda estrecha relación con la que se lleva a cabo, ya que indica que la caracterización hidrogeológica previa permite optimizar tanto el diseño como la economía del sostenimiento.

Huacho y La Fuente (2021), en la elaboración de su tesis que lleva por título Influencia de la activación alcalina del relave minero para el sostenimiento con shotcrete en una mina del centro del Perú, tuvieron como objetivo optimizar la dosificación del shotcrete con el empleo de los relaves activados como un sustituto parcial de cemento. El tipo de metodología que le fue aplicado fue de aplicada y experimental y tomando como base los resultados obtenidos de las propiedades mecánicos y químicos de las mezclas se concluyó que el shotcrete geopolimérico fue una alternativa más sostenible, económica y resistente en comparación con ambientes químicos adversos. Su relación con la investigación propuesta es que nos da una solución innovadora para el sostenimiento subterráneo, teniendo en cuenta las propiedades químicas del agua en contacto con las estructuras.

Pérez (2021) en su trabajo de investigación titulado Análisis de variables operacionales en la dosificación del shotcrete en la rampa RP4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la Unidad Minera Chungar tenía como finalidad

determinar qué variables operacionales son las más influyentes en la eficiencia del shotcrete como elemento de sostenimiento en las labores subterráneas. El autor clasifica el tipo de estudio como analítico-descriptivo, teniendo como base la información obtenida de las observaciones de campo, la descripción geomecánica del macizo rocoso, los estudios de humedad y rugosidad del frente, los estudios de resistencia, la verificación de los tiempos de mezclado y de aplicación. Los resultados obtenidos concluyeron que la humedad del frente, las condiciones de las discontinuidades, el espesor aplicado y los tiempos del mezclado y del lanzado son variables determinantes en la adherencia, la resistencia y el consumo del shotcrete. El autor concluyó que el control de las condiciones hidrogeológicas del macizo rocoso, en especial de la humedad y la ponderación, permite optimizar la dosificación y reducir el desperdicio de material. Este artículo se vincula con la presente investigación, porque manifiesta que la evaluación hidrogeológica del macizo rocoso es uno de los puntos más importantes para el diseño y optimización de los sistemas de sostenimiento en minería subterránea.

2.1.3. Antecedentes locales

Condori (2023) en su tesis “Análisis del sostenimiento definitivo para roca clase IV, V y VI en el túnel de relaves Salveani-Capillune, Proyecto Quellaveco” tuvo la finalidad de, a partir del análisis de las condiciones geotécnicas e hidrogeológicas del macizo rocoso, determinar el tipo de sostenimiento más adecuado. En ese sentido el estudio se desarrolló con la caracterización geomecánica con los sistemas Q y RMR y se completó con modelamiento numérico en Phase2 y RS2 que ayudarán a analizar el comportamiento del túnel ante las distintas configuraciones de soporte. Los resultados mostraron que en sectores de la roca clase V y VI el uso de shotcrete de 15 cm de espesor reforzado con fibras metálicas y drene es obligado, a efecto de controlar la infiltración de agua, mientras que en zonas donde la calidad de la roca es mejor se optimiza el espesor y disposición del sostenimiento. El estudio concluye que el agua subterránea influye en la durabilidad y adherencia del shotcrete, además de su capacidad de carga y el comportamiento estructural. Este trabajo presenta una gran relación con la investigación actual, pues evidencia la importancia de introducir la evaluación

hidrogeológica del macizo rocoso para la optimización de los sistemas de sostenimiento en labores permanentes de minería subterránea.

2.2.Bases teóricas

El contexto teórico que se desarrolla en este capítulo intenta ofrecer el contenido necesario para comprender los procesos de la interacción entre el shotcrete y el agua subterránea, con la finalidad de ofrecer un soporte técnico para la determinación de dosificaciones para cada unidad minera. Para ello, el capítulo desarrollará aspectos básicos de la hidrogeología del macizo rocoso, de la composición hidroquímica del agua, y del comportamiento químico del shotcrete en medios subterráneos, toda vez que estos tres componentes son determinantes de la reactividad del material en su desempeño frente a condiciones reales de operación.

La reactividad del shotcrete frente al agua subterránea está determinada tanto por las características hidrogeológicas del macizo rocoso y la cualidad iónica del agua que llega a las labores subterráneas. La existencia de acuíferos fisurados y/o fracturados favorece el flujo incesante de agua hacia las zonas recientemente sostenidas, de modo que su reactividad afectará a la hidratación del cemento y a la estabilidad química de sus productos hidratados. Al mismo tiempo, factores fisicoquímicos que caracterizan al medio subterráneo, tales como pH, conductividad, sólidos disueltos totales, potencial de agresividad iónica, etcétera determinan la magnitud de procesos como la lixiviación; disolución de hidróxidos, expansión de compuestos, corrosión de refuerzos metálicos, etcétera.

2.2.1. Hidrogeología del Macizo Rocoso en Minería Subterránea

Las unidades mineras de Atacocha, El Porvenir, Carahuacra, Andaychagua y San Cristóbal están ubicadas en la Sierra Central del Perú, dentro de la Cordillera de los Andes, que representa una de las regiones geológicas más relevantes en el Perú, pues tiene una alta concentración de depósitos polimetálicos, como consecuencia de la predominancia de secuencias carbonatadas y rocas metavolcánicas con un alto grado de fracturación, por lo que la permeabilidad secundaria juega un papel determinante. (INGEMMET, 2020) Este escenario propicia la rápida migración de agua, la cual puede desplazarse rápidamente hacia

el frente de avance, lo que a su vez genera un aumento de la presión hidráulica en las discontinuidades y condiciona el comportamiento del sostenimiento empleado y el del shotcrete.

2.2.1.1.Comportamiento del Flujo Subterráneo

El movimiento del agua en el interior de un macizo rocoso minero no suele tener un patrón uniforme. El flujo subterráneo de un macizo rocoso minero está determinado principalmente por la red de discontinuidades (fracturas, fallas, planos de estratificación, etc.) que confiere la permeabilidad secundaria al medio. A diferencia de una matriz rocosa intacta cuya permeabilidad primaria es muy baja, es en cambio en estas discontinuidades concretas donde se producen los caminos efectivos por los que discurre el agua, o bien la cantidad de agua que se introduce en la excavación. (Klimchouk et al., 2022)

Figura 1.
Ubicación geográfica de las unidades mineras



Nota. Elaboración propia

Desde una perspectiva hidrogeológica, el macizo rocoso simultáneamente desempeña la función de reserva, medio transmisor y de drenaje. El sentido del flujo está determinado por la orientación, interconexión, rugosidad y apertura de las fracturas, así como por la litología y la estructura tectónica que controlan la conectividad hidráulica del sistema. En zonas muy fracturadas o con presencia de

vetas mineralizadas es frecuente encontrar redes hidráulicas complejas que conducen flujos importantes hacia las labores mineras.

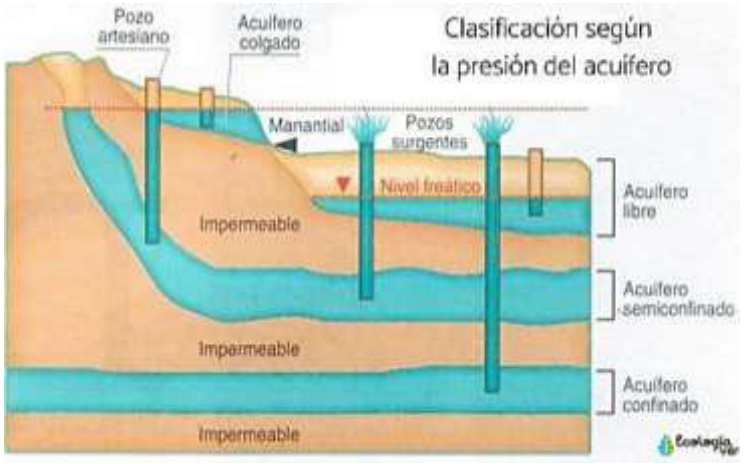
Las unidades mineras Atacocha, El Porvenir, Carahuacra, Andaychagua y San Cristóbal se ubican en la Sierra Central del Perú, dentro de la Cordillera de los Andes, una de las regiones geológicas más importantes del país por su alta concentración de yacimientos polimetálicos, consecuentemente predominan secuencias carbonatadas y rocas metavolcánicas intensamente fisuradas, la permeabilidad secundaria adquiere un rol predominante. Estas condiciones favorecen la migración rápida de agua hacia el frente de avance, incrementando la presión hidráulica en discontinuidades y condicionando el desempeño del sostenimiento aplicado, como el shotcrete.

2.2.1.2.Acuíferos en Labores Subterráneas

Desde el punto de vista hidrogeológico, las formaciones geológicas subterráneas se clasifican según su capacidad para almacenar y transmitir agua.

- **Acuíferos:** Formaciones permeables que pueden almacenar y transmitir agua fácilmente (ej., arenas, gravas, materiales calizos fracturados).
- **Acuitardos:** Capaces de almacenar cantidades importantes de agua, pero la transmiten con dificultad (formaciones semipermeables como los limos).
- **Acuicludos y Acuifugos:** Formaciones que almacenan, pero no transmiten agua, o que no almacenan ni transmiten, respectivamente. Las Unidades Mineras objeto de estudio se localizan en las fajas corridas y plegadas de los Andes del Perú Central. La mineralización principal, que incluye Zn, Ag, Pb y Cu, se desarrolla en secuencias litológicas plegadas y deformadas, predominando en las filitas paleozoicas del Grupo Excélsior, y en las calizas del Grupo Pucará. La compleja geología se debe a procesos tectónicos compresivos que generaron anticlinales (dirección NW-SE) y estructuras de vetas (dirección SW-NE), las cuales fueron reactivadas por estadios posteriores de mineralización e intrusiones de edad variable, como el intrusivo San Cristóbal (10 a 12 millones de años) y los volcánicos Chumpe (3 a 6 millones de años).

Figura 2.
Esquema de Tipos de Acuíferos



Nota. De EcologiaVerde, 2020, Tipos de Acuíferos.

2.2.1.3.Propiedades Hidráulicas del Macizo Rocoso

Las propiedades que ostenta el macizo rocoso en el control y el drenaje del agua en ambientes mineros también determinan la magnitud, la velocidad y la dirección del flujo que entra a la excavación. Las propiedades hidráulicas afectan la estabilidad geomecánica y, a su vez, la resistencia de los materiales de sostenimiento, en especial del shotcrete, pues tales propiedades determinan la interacción agua–cemento en el medio subterráneo (Fetter, 2018; Freeze & Cherry, 1979). La caracterización hidráulica es fundamental en la Sierra Central en Perú, donde los macizos fracturados y las litologías altamente alteradas están presentes, para poder diseñar sistemas de soporte eficaces y necesarios (Black et al., 2017; Singhal & Gupta, 2010).

Conductividad y permeabilidad hidráulica

La conductividad hidráulica o K, da cuenta de la capacidad del macizo rocoso de transmitir agua. En rocas intactas, la permeabilidad primaria es muy baja como resultado de la muy baja porosidad intergranular; por el contrario, la existencia de fracturas, fallas y planos de estratificación permite que aumente la permeabilidad secundaria, que es la que controla por lo general la mayor parte del flujo subterráneo en rocas duras (Singhal y Gupta, 2010; Hydrogeologic Properties of Earth Materials, 2020). En áreas donde el fracturamiento es intenso, como las que se asocian a vetas mineralizadas o contactos litológicos, se registran las

conductividades más elevadas, las cuales permitirán que el agua ingrese constantemente a las labores subterráneas (Black et al., 2017). Este comportamiento es característico de las unidades mineras como Atacocha y El Porvenir donde existen valores de K del orden de 10^{-6} a 10^{-5} m/s en las zonas fracturadas y mineralizadas (INGEMMET, 2020).

Porosidad y almacenamiento

La porosidad total de un macizo rocoso es muy baja (<3 %) pero la porosidad efectiva depende de la interconexión entre las microfracturas y microvoids de la roca. El coeficiente de almacenamiento (S) hace referencia a la capacidad de un macizo para liberar o retener agua para cambios en la presión hidráulica, el cual tiende a aumentar significativamente en rocas fracturadas (Freeze & Cherry, 1979; Wright & Xu, 2001). Este incremento puede generar acumulaciones de presión en las discontinuidades comprometiendo la estabilidad de las excavaciones subterráneas.

Presión hidráulica y gradientes

La presión intersticial de los poros en fracturas juega un papel esencial en la resistencia efectiva del macizo y, por ende, en el potential de desprendimientos, más aún cuando la excavación de los frentes ocurre en un ambiente saturado. Gradientes hidráulicos, propios de regiones de recarga rápida o acuíferos confinados, pueden dar lugar a irrupciones bruscas de agua a elevada energía (Fetter, 2018; Black et al., 2017).

Discontinuidades como canales preferenciales

Son las discontinuidades las que actúan como los principales conductos de flujo del macizo. Su apertura, revestimiento, relleno y orientación determinan el caudal de agua que las discontinuidades pueden transportar. Al asociarse fracturas se generan redes hidráulicas complejas que pueden hallar caudales importantes y llevar solutos capaces de alterar químicamente las características del shotcrete (Singhal & Gupta, 2010; Yeh & Lee, 2024). En macizos fracturados, estas redes determinan la dirección del flujo y, por tanto, las solicitaciones del sostenimiento del terraplén.

En definitiva, la conductividad hidráulica, la porosidad efectiva, el almacenamiento de agua, la presión de los poros y la permeabilidad secundaria determinan el comportamiento hidrogeológico del macizo rocoso y las solicitaciones que este debe sufrir en las excavaciones del substrato (Freeze & Cherry, 1979; Singhal & Gupta, 2010).

Tabla 2.
Cuadro Conceptual por Parámetros

Parámetro	Control principal	Efecto hidrogeológico	Impacto en minería
Conductividad (K)	Discontinuidades y su apertura	Mayor flujo subterráneo	Ingreso continuo de agua
Permeabilidad secundaria	Fracturas interconectadas	Redes hidráulicas	Caudales elevados en frentes
Porosidad efectiva	Microfracturas	Almacenamiento de agua	Acumulación de presiones
Presión de poros	Gradiente hidráulico	Reducción de resistencia	Inestabilidad del macizo
Almacenamiento (S)	Compresibilidad del entorno	Liberación de agua por descarga	Necesidad de bombeo y drenaje

Nota. Elaboración propia.

2.2.1.4.Condiciones Hidrogeoquímicas en Minas de la Sierra Central

Las condiciones hidrogeológicas del macizo rocoso ejercen efectos directos y determinantes sobre la eficiencia, durabilidad y comportamiento del shotcrete aplicado como sistema de sostenimiento en minería subterránea. El agua que penetra a través de fracturas, zonas de falla o acuíferos confinados no solo afecta el proceso de fraguado y adherencia inicial del material, sino también el comportamiento químico y mecánico para los largos términos (Austin & Robins, 1995; Thomas, 2011). En las minas de la Sierra Central del Perú, donde el flujo hidráulico y la geoquímica del agua son altamente variables, estas implicaciones tienen especial relevancia a partir del hecho de presentar sulfuros, secuencias carbonatadas y aguas de potenciales reacciones ácido-generadoras (INGEMMET, 2020; Klimchouk et al., 2022).

Efecto del flujo y la presión hidráulica

El ingreso persistente y constante de agua hacia los trabajos de excavación afecta de forma notoria tanto la instalación como el rendimiento inicial del shotcrete. Los flujos activos son capaces de reducir el tiempo de adherencia, incrementar el rebote y causar pérdidas de material en la proyección que pueden ser significativas (EFNARC, 2009). Presiones hidráulicas elevadas en discontinuidades del macizo rocoso pueden generar fallas en los hastiales y desprendimientos localizados, lo que conducirá a la necesidad de incrementar los espesores de shotcrete o, bien, ir a instalar previamente elementos de drenaje para reducir la presión de poros (Black et al., 2017; Singhal & Gupta, 2010).

Influencia en el proceso de fraguado y adherencia

El exceso de humedad en la superficie del macizo afecta la adherencia inicial del shotcrete, disminuyendo su resistencia temprana y favoreciendo la segregación. La técnica más utilizada para el shotcrete en flujo activo es la aplicada por vía húmeda con acelerantes del fraguado, con la finalidad de obtener resistencias tempranas y para exponerse menos al macizo sin soporte (EFNARC, 2009; Mindess et al., 2003). Estas prácticas permiten contrarrestar los efectos negativos de la saturación y conseguir un mejor confinamiento inicial.

Interacción química entre agua y shotcrete

Las aguas subterráneas de la Sierra Central suelen presentar elevadas concentraciones en sulfatos, magnesio, calcio y en algunos sectores, pH ácido resultado de la oxidación de sulfuros metálicos como la pirita (INGEMMET, 2002; Nordstrom, 2011). Estos parámetros hidrogeoquímicos pueden inducir procesos de deterioro del shotcrete tales como:

- Ataque por sulfatos, que origina la formación de etringita expansiva (Skalny et al., 2002; Thomas, 2011).
- Descomposición de los geles C-S-H en presencia de magnesio, generando brucita y M-S-H con pérdida de cohesión (Taylor, 1997).
- Lixiviación del hidróxido de calcio, que reduce el pH y debilita la pasta cementante (Neville, 2012).

- Corrosión de fibras metálicas propicios en medios ácidos o con cloruros, y que afecta la tenacidad del refuerzo (Bernard, 2010).

Dicha interacción generalmente disminuye la vida del shotcrete y su capacidad para funcionar como un elemento de confinamiento y control de una deformación, como la deformación que podría presentarse en zonas de mineralización sulfurada o en zonas de flujo sostenido.

Necesidad de ajustes en la dosificación

Las condiciones hidrogeoquímicas del macizo obligan a hacer modificaciones en la dosificación del shotcrete que aseguren un correcto comportamiento. Esto es, en ambientes de alta agresividad o en zonas de flujo sostenido es necesario incorporar:

- Cementos Tipo V (resistentes a sulfatos) (ASTM C150, 2023).
- Adiciones puzolánicas como microsílice para reducir permeabilidad (ACI 506R, 2016).
- Aditivos inhibidores de la corrosión frente a la presencia de cloruros.
- Fibras sintéticas en lugar de fibras metálicas para prevenir el riesgo de corrosión (Bernard, 2010).
- Reduce la relación agua/cemento para mejorar la compacidad (Mindess et al., 2003).
- Control del espesor aplicando carga para compensar el lavado o erosión debidos al flujo del agua.

También, la incorporación de drenes pasivos, de frentes drenados o perforaciones de alivio, hace disminuir las presiones hidráulicas de los hastiales y la adherencia del shotcrete mejora, lo que es un elemento crítico en cuadros donde los flujos concentran grandes caudales o existen acuíferos confinados (Black et al., 2017; Singhal & Gupta, 2010).

2.2.2. Composición Fisicoquímica del Agua Subterránea

2.2.2.1.Parámetros Fisicoquímicos Críticos

La hidrogeoquímica se encarga de determinar la calidad del agua subterránea y su interacción con el entorno geológico. En minería, la

caracterización fisicoquímica del agua se considera indispensable no solamente para realizar un control ambiental de la misma, sino también para realizar una adecuada selección de los sistemas de sostenimiento de las escombreras, los cuales incluyen el shotcrete (ANA, 2018; Appelo & Postma, 2005). La baja calidad física del agua puede proceder de procesos naturales, como la disolución de los minerales sulfurados, o por influencia antropogénica, como la producción de drenaje ácido de mina (DAM) provocada por la oxidación de los sulfuros en los que interviene el aire (Nordstrom, 2011; INMETMIN, 2019). Los parámetros fisicoquímicos determinan la agresividad del agua frente al shotcrete y los elementos de refuerzo. Los más importantes son:

- **pH**

  El pH es un indicador básico que determina el grado de acidez o basicidad del agua, expresándose en una escala que va de 0 a 14. Valores de pH menores que 7 se consideran ácidos, en tanto que valores de pH mayores a 7 dan como resultado aguas básicas (ANA, 2019). El pH determina la solubilidad de los metales, la movilidad de las especies químicas y la agresividad que tienen contra los materiales cementantes (Kim et al., 2019). En los ambientes de drenaje ácido de mina (DAM), el pH puede descender por debajo de 4 a causa de la oxidación de minerales sulfurados, lo cual favorece la corrosión de fibras de acero y, además, da lugar al lavado o lixiviación del hidróxido cálcico del cemento, lo que pone en riesgo la integridad del shotcrete (Nordstrom, 2011; López et al., 2019).

Tabla 3.
Clasificación de pH

pH	Clasificación
pH = 7	Neutra
pH < 7	Sustancia Ácida / Agua Ácida
pH > 7	Sustancia Alcalina / Básica Agua Alcalina

Nota. Elaboración propia (basado en ANA, 2019).

- **Conductividad Eléctrica (CE):**

  Es un parámetro relevante para inferir la cantidad de sales que hay en el agua y su capacidad para conducir electricidad, está relacionada

directamente con la concentración y tipo de iones, la temperatura y el grado de mineralización (ANA, 2018; Rhoades et al., 1999). En la minería, altos valores de CE, son sinónimos de aguas más salinas, lo que a su vez genera un aumento de la agresividad química hacia el concreto. Además, la CE se utiliza en esos métodos de tipo geofísico para distinguir estratos o zonas saturadas (Corwin & Lesch, 2010; Moral et al., 2010).

Tabla 4.
Clasificación de Conductividad Eléctrica

Aguas Dulces			**Aguas Salobres**	**Aguas Saladas**
Mineralización baja	*Mineralización media*	*Mineralización alta*	*Mineralización muy alta*	–
0.1 – 0.25 dS/m	0.25 – 0.75 dS/m	0.75 – 2.0 dS/m	2.0 – 7.0 dS/m	7.0 dS/m

Nota. Elaboración propia (basado en ANA, 2018).

- **Sólidos Disueltos Totales (TDS) y Conductividad:**

Los sólidos disueltos totales (TDS) son la cantidad de sales, minerales y materia orgánica que componen el agua, expresándose como ppm. La medida de TDS permite determinar el nivel de mineralización que podría tener el agua, así como la posible agresividad hacia la materia cementicia (ANA, 2018). Valores altos en TDS pueden ser agentes que faciliten el deterioro del shotcrete, acelerarlo y dar lugar a una menor adherencia en las condiciones de saturación del medio (Hindawi, 2023; López et al., 2019). Puesto que la conductividad eléctrica está directamente relacionada con la concentración total de iones, se suele estudiar conjuntamente TDS y conductividad.

Tabla 5.
Clasificación de TDS

Categoría	**Rango (ppm)**
Agua dulce	0 – 1500 ppm
Agua salobre	1500 – 10 000 ppm
Agua salina	10 000 – 34 000 ppm
Agua hipersalina	34 000 – 36 000 ppm

Nota. Elaboración propia (basado en ANA, 2018).

- **Oxígeno Disuelto y DQO:**

  El oxígeno disuelto en un agua determina la oxidación de minerales metálicos y acelera procesos de corrosión (García et al., 2019); sobre todo cuando el shotcrete presenta fibras metálicas (García et al., 2019). La DQO determina la cantidad de materia orgánica que puede ser oxidada químicamente, obteniéndose así que valores altos en este parámetro van asociados a mayor actividad geoquímica y por tanto al riesgo de reacciones agresivas sobre el concreto proyectado (López et al., 2019).

- **Sulfatos (SO_4^{2-}):**

  Los sulfatos han sido considerados uno de los más severos agentes de ataque a los materiales a base de cemento. Su presencia en aguas subterráneas puede dar lugar a:

  - formación de etringita expansiva (Skalny et al., 2002; Thomas, 2011),
  - desintegración de productos hidratados del cemento,
  - pérdida de cohesión y expansión interna del shotcrete.

  En la Unidad Minera Atacocha se han reportado aguas sulfatadas de tipo cálcico, lo que representa un grado de riesgo elevado al ataque químico (INGEMMET, 2020). La concentración de sulfatos se determina, generalmente, para obtener su cuantificación mediante espectrofotometría UV-Visible o por métodos colorimétricos estandarizados (APHA, 2017).

- **Dureza Total Ca^{2+} y Mg^{2+}.:**

  La dureza de las aguas expresa la cantidad de calcio y magnesio que estas ostentan. Aunque las altas concentraciones de dureza pueden incitar la formación de incrustaciones, el magnesio es un ion que crea problemas en el caso de concretos, ya que puede descomponer directamente los silicatos de calcio hidratados (C-S-H). Como consecuencia, el shotcrete puede deteriorarse en cuanto a resistencia y estabilidad (Taylor, 1997; Neville, 2012). La dureza total se determina mediante analítica volumétrica (titulación) y se encontran las normas NMX-AA-072-SCFI-2001 o las de APHA (2017).

Estos parámetros, contribuyen a elaborar un perfil hidroquímico completo del entorno minero. Este perfil resulta fundamental para determinar la posible interacción de las aguas subterráneas con el shotcrete, dado que condiciones tales como un pH ácido, alta salinidad y elevada carga iónica pueden afectar sus propiedades mecánicas y provocar pérdidas en la adherencia del concreto proyectado (López et al., 2019). La DQO, por su parte, permite reflejar la presencia de materia orgánica y compuestos oxidables que pueden acentuar la agresividad química del agua frente a los materiales cementicios (Kim et al., 2019). Estos niveles elevados de DQO, CE o TDS pueden provocar una aceleración en la lixiviación del hidróxido cálcico, propiciar la corrosión del refuerzo y la aparición de fallas prematuras en el shotcrete, en especial en ambientes subterráneos en los que existe flujo constante.

La detección de aguas sulfatadas–cálcicas en unidades mineras de la Sierra Central requiere optar por cementos Tipo V o mezclas con alta sustitución puzolánica con el objetivo de mitigar el ataque por sulfatos (ASTM C150, 2023). La severidad del deterioro dependerá tanto de la concentración de sulfatos como de la presencia de magnesio, responsable de la desestabilización del C-S-H y la producción de productos con menor resistencia (Taylor, 1997; Thomas, 2011).

Tabla 6.
Clasificación de Solidos Totales Disueltos

Parámetro	Rangos / Clasificación relevante	Mecanismo de deterioro	Durabilidad del shotcrete
Dureza Total (Ca^{2+}, Mg^{2+})	Aguas duras típicamente >120 mg/L como $CaCO_3$; presencia elevada de Mg^{2+} considerada crítica.	El Mg^{2+} degrada el C-S-H formando compuestos no cementantes (brucita y M-S-H).	Pérdida de resistencia, desintegración superficial y disminución de estabilidad en zonas saturadas.
Sulfatos (SO_4^{2-})	<150 mg/L (baja), 150–1500 (moderada), 1500–10,000 (alta), >10,000 mg/L (muy alta).	Formación de etringita y yeso → expansión, fisuración y desintegración interna.	Riesgo de ataque sulfático severo; necesidad de cementos Tipo V o alto contenido puzolánico.
Parámetro	Rangos / Clasificación relevante	Mecanismo de deterioro en materiales cementicios	Implicancias para la durabilidad del shotcrete

Dureza Total (Ca^{2+}, Mg^{2+})	Aguas duras típicamente >120 mg/L como $CaCO_3$; presencia elevada de Mg^{2+} considerada crítica.	El Mg^{2+} degrada el C-S-H formando compuestos no cementantes (brucita y M-S-H).	Pérdida de resistencia, desintegración superficial y disminución de estabilidad en zonas saturadas.

Nota. Elaboración propia, Skalny, et al. (2002). Sulfate attack on concrete. CRC Press.

2.2.2.2.Iones Agresivos para Materiales Cementicios

Este se considera uno de los principales aspectos determinantes en la degradación química del shotcrete y del resto de materiales cementicios que se utilizan en la minería subterránea. Dicha degradación puede ser el resultado de las reacciones de estos iones con las fases hidratadas del cemento, de la transformación de la microestructura del material, de las expansiones internas o de la aceleración de los procesos de lixiviación. En las minas de la Sierra Central del Perú, la composición del agua subterránea, que normalmente está enriquecida con sulfatos, magnesio, cloruros y bicarbonatos, es un importante detrimento para la durabilidad del sostenimiento (Appelo & Postma, 2005; Neville, 2012).

Sulfatos (SO_4^{2-})

Los iones sulfato se consideran los iones más agresivos que puede tener el agua para los materiales cementicios. La reacción de estos iones sulfato con el hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$ origina el yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$); y la reacción con los aluminatos hidratados del cemento produce etringita, un mineral expansivo que provoca heridas en el shotcrete y lleva a la pérdida de coherencia del mismo (Skalny et al., 2002; Thomas, 2011).

Este mecanismo de degradación del material cementicio se denomina ataque por sulfatos; se ha descrito su efectividad a la hora de destruir la matriz cementicia en ambientes con concentraciones altas de sulfato, favorecidos por la recarga de agua subterránea (Taylor, 1997).

Magnesio (Mg^{2+})

El magnesio (Mg^{2+}) es uno de los agentes de deterioro más severos en ambientes sulfatados–magnésicos. Se acción sobre los silicatos de calcio hidratados (C–S–H) altera su estructura y genera brucita ($Mg(OH)_2$) y fases M–S–H de menor

resistencia (Neville, 2012; Taylor,1997). En alta concentración, la acción del magnesio puede ser más dañina que la de los sulfatos, particularmente a pH bajo (<10.5) donde la solubilidad del C–S–H es más elevada (Appelo & Postma, 2005).

Cloruros (Cl^-)

Los cloruros afectan principalmente a los elementos metálicos embebidos en el shotcrete, tales como las fibras de acero o las mallas utilizadas para reforzar. Ello promueve la corrosión electroquímica, disminuye la sección efectiva del refuerzo y también la tenacidad residual del soporte (ACI, 2016; Kim et al., 2019).

Además, los cloruros penetran rápidamente en matrices cementicias porosas o de alta permeabilidad, facilitando la aparición de óxidos expansivos y acelerando el deterioro estructural (Neville, 2012).

Bicarbonatos (HCO_3^-)

Los bicarbonatos, en especial cuando se encuentran en presencia de calcio y magnesio, colaboran a incrementar la dureza total que presenta el agua y facilitan la precipitación de carbonatos. Sé que la agresividad química que ejercen sobre el shotcrete es moderada, pero pueden propiciar procesos indirectos como la descarbonatación de la pasta cementicia, producción de incrustaciones o alteraciones microestructurales en condiciones de hidromorfogeoquímica que alteran el desarrollo de incrustaciones (Appelo & Postma, 2005; Madsen et al., 2019).

Hidrógeno (H^+)

El pH bajo, presente en aguas afectadas por drenaje ácido de mina (DAM), promueve la disolución del hidróxido de calcio y la lixiviación de las fases hidratadas del cemento (Nordstrom, 2011; López et al., 2019). Este proceso empobrece la cohesión interna del shotcrete, pero la incrementa frente a otros agentes agresivos, actuando como catalizador en el deterioro químico en ambientes metalíferos.

2.2.2.3.Clasificación de Aguas Agresivas

La agresividad del agua respecto a los materiales cementicios se determinará en función de la concentración de determinados iones, el pH del agua, su dureza y

su capacidad para disolver o degradar las fases hidratadas del cemento. Normas y criterios ampliamente empleados -como ASTM C1580, ACI 201.2R, EN 206 o modelos de evaluación geoquímica- asignan rangos para clasificar el grado de agresividad y determinar de este modo la durabilidad esperada del shotcrete en el entorno subterráneo (ASTM International, 2018; ACI, 2016; EN 206, 2013; Appelo & Postma, 2005).

Tabla 7.
Clasificación de Aguas Agresivas Según Parámetros Químicos

Parámetro	Rango / Umbral	Nivel de Agresividad	Implicancias en Shotcrete
Sulfatos (SO_4^{2-})	< 150 mg/L	Baja	Sin efectos significativos.
	150 – 1,500 mg/L	Moderada	Requiere cemento Tipo V o puzolanas.
	1,500 – 10,000 mg/L	Alta	Riesgo de formación de etringita y expansión.
	> 10,000 mg/L	Muy alta	Fuerte deterioro; requiere mezcla altamente resistente a sulfatos.
Magnesio (Mg^{2+})	> 300 mg/L	Altamente agresiva	Descomposición del C-S-H, pérdida severa de resistencia.
pH	< 4	Muy agresiva	Ataque ácido intenso; lixiviación acelerada de $Ca(OH)_2$.
	4 – 6	Agresiva	Riesgo de disolución de la matriz cementicia.
	6 – 9	No agresiva	Condiciones estables para shotcrete.
Cloruros (Cl^-)	> 500 mg/L	Corrosiva	Corrosión de fibras de acero o mallas metálicas.
Dureza (Ca^{2+} + Mg^{2+})	Niveles altos	Agresividad indirecta	Incrustaciones, cambios en equilibrio de solutos; puede reducir durabilidad.
Conductividad eléctrica (CE)	> 1,500 µS/cm	Alta carga iónica	Mayor penetración de sales; aumenta agresividad química.

Nota. Adaptada de ACI 201.2R-16; ASTM C1580-18; EN 206:2013

Esta composición de criterios permite la clasificación del agua subterránea como no agresiva, poco agresiva, moderadamente agresiva o muy agresiva, lo que resulta determinante para conocer el tipo de cemento, las dosificaciones y adiciones del shotcrete (ACI, 2016; EN 206, 2013).

2.2.2.4. Tipificación Hidroquímica del Agua Subterránea

La tipificación hidroquímica sirve para poder determinar el origen del agua, su evolución geoquímica, así como los procesos hidrológicos y mineralógicos que controlan su composición. En la minería subterránea resulta esencial para anticiparse a la interacción agua-chemo-hormigón y para predecir la agresividad química del medio (Hem, 1985; Appelo & Postma, 2005).

a) Clasificación por tipo iónico dominante

La composición del agua se determina a través del análisis de cationes y aniones predominantes. En las minas de la Sierra Central de Perú son habituales las siguientes cuatro tipologías:

- Sulfatada–cálcica (SO_4–Ca): habitual en los sectores donde ocurre oxidación de sulfuros y en presencia de calizas fracturadas.
- Sulfatada–magnésica (SO_4–Mg): relacionada con alteraciones hidrotermais, o en magnesitas.
- Clorurada–sódica (Cl–Na): poco habitual, asocia al agua profunda o a fluidos geotermales.
- Bicarbonatada–cálcica (HCO_3–Ca): frecuente en acuíferos carbonatados poco alterados.

Las aguas sulfatadas–cálcicas y las sulfatadas–magnésicas implican mayor riesgo de producción de las mismas debido a ataque por sulfatos y magnesio (Taylor, 1997; Skalny et al., 2002).

b) Diagramas hidroquímicos

Los métodos más usados para interpretar la composición del agua son:

- Diagramas de Piper, que permite agrupar el agua en diferentes familias iónicas (Piper, 1944).

- Diagramas de Stiff, útiles para comparar la composición del agua en zonas de la mina (Stiff, 1951).
- Triángulos de Gibbs, para identificar los procesos hidroquímicos predominantes como evaporación, precipitación o dilución de minerales (Gibbs, 1970).

Estos antecedentes tienen por finalidad poder evidenciar la evolución hidrogeoquímica de las zonas de recarga donde circula el agua desde la profundidad en zonas donde circula el agua de mina.

c) Procesos geoquímicos asociados

Los procesos más significativos son:

- Oxidación de sulfuros, provocando aguas ácidas y ricas en sulfato (Nordstrom, 2011).
- Disolución carbonatada, favoreciendo el aumento de Ca^{2+} y HCO_3^-.
- Intercambio catiónico, aumentando los valores de Mg^{2+} y modificando la dureza total del mismo.
- Precipitación de yeso, calcita y otros minerales secundarios, alterando el balance de cargas que depende de la calidad de las aguas implicadas.
- Lixiviación de metales en pH bajo, provocando condiciones muy agresivas para el shotcrete.

Estos procesos tienen mucho que ver con los tipos de agua, el nivel de agresividad y el diseño de sostenimiento a aplicar en minería subterránea.

2.2.3. Shotcrete Aplicado a Minería Subterránea

2.2.3.1. Clasificación geomecánica RMR y su relación con sostenimiento

La clasificación geomecánica RMR (Rock Mass Rating) y desarrollada por Bieniawski es la metodología empírica más utilizada a nivel mundial para evaluar la calidad de un macizo rocoso y orientar el desarrollo del sostenimiento en excavaciones subterráneas (Bieniawski, 1989; Bieniawski, 1993). El sistema RMR establece una puntuación de entre 0 y 100 en función de cinco parámetros: resistencia de la roca, RQD, espaciamiento de discontinuidades, condición de juntas y condiciones de agua. Con este punto se determina la clasificación del macizo

rocoso en cinco clases (I–V) y se establece el sistema de sostenimiento en función de la definición y el espesor del shotcrete, uso de pernos, uso de mallas y otros elementos de soporte a partir de tablas empíricas desarrolladas en proyectos mineros y de túneles (Hoek & Brown, 1997; Hoek et al., 2000).

Uno de los elementos más trascendentales en este nuevo método derivado del RMR es la determinación del tiempo de auto-sostenimiento, que determina el tiempo en el que la excavación puede quedar estable sin la instalación de soporte. Bieniawski (1993) establece que el tiempo tiende a ser mínimo en la clase de rocas de baja calidad (IV y V), donde el soporte se instalará en cuestión de horas y minutos, de acuerdo al principio operativo de "labor avanzada; labor sostenida". El parámetro de "condición de agua subterránea" puede hacer bajar la puntuación del RMR de forma drástica en aquellas situaciones donde aparecen macizos de baja calidad como las de los acuíferos confinados, estructuras fracturadas o flujos que se pueden encontrar en la mina Atacocha o El Porvenir (Hoek & Bray, 1981).

Sin embargo, el RMR no tiene en cuenta el tema de la durabilidad química del soporte, pues no incorpora factores como el pH de la composición de agua, los sulfatos o la agresividad hidrogeoquímica del agua, que son factores determinantes en la vida útil del shotcrete (Neville, 2012); Thomas, 2011). De aquí que en las zonas con aguas agresivas sea necesario practicar el diseño geomecánico tradicional con una evaluación de durabilidad química introduciendo de forma cíclica los parámetros hidrogeológicos y los parámetros hidrogeoquímicos (Appelo & Postma, 2005; Skalny et al., 2002).

Tabla 8.
Clasificación RMR

RMR	Clase de Roca	Descripción	Tiempo de Auto-Sostenimiento
81-100	I	Roca muy buena	10 años
61-80	II	Roca buena	1 año
41-60	III	Roca de calidad media	1 semana
21-40	IV	Roca pobre	10 horas
< 20	V	Roca muy pobre	30 minutos

Nota. Elaboración propia, Adaptado de Bieniawski, 1989; Hoek et al., 2000.

2.2.3.2. Componentes Fundamentales del Shotcrete

El shotcrete es un concreto proyectado a presión empleado en los trabajos subterráneos debido a que contiene las características que brindan un confinamiento rápido, mejora el autosostenimiento del macizo y controla los desprendimientos en rocas de calidad media a mala (EFNARC, 2009; ACI 506R-16, 2016). Los componentes principales del shotcrete son el cemento, los agregados, el agua, las fibras y los aditivos. Entre los factores más importantes relacionados con su comportamiento destacan:

- Relación agua/cemento (a/c): es el factor que regula la porosidad y permeabilidad del shotcrete, valores altos propician la penetración de agentes agresivos (sulfatos o cloruros) (Neville, 2012) en el shotcrete, haciendo que el mismo sea menos duradero.
- Acelerantes de fraguado: son utilizados especialmente para alcanzar resistencias tempranas en el shotcrete, en minería y, en el método directo, para evitar el tiempo de exposición a caída de la roca, especialmente en la vía húmeda (EFNARC, 2009).
- Fibras metálicas o sintéticas: aportan resistencia residual y tenacidad del shotcrete bajo condiciones de fisuración. Las fibras sintéticas son más apropiadas en entornos con aguas agresivas por su inmunidad a la corrosión (Thomas, 2011).

Tabla 9.
Composición Estándar de Shotcrete

Componente	Rango Típico
Cemento	350 – 450 kg/m³
Agregado fino	60 – 70 % del volumen
Relación agua/cemento	0.40 – 0.50
Aditivos (plastificantes, acelerantes)	Según diseño técnico
Fibras metálicas/sintéticas	30 – 40 kg/m³ (opcional)

Nota. Elaboración propia, adaptado de EFNARC, 2009; ACI 506R-16, 2016.

Las dos formas de aplicar el shotcrete son las siguientes: cada una de las propiedades de aplicación del shotcrete tiene unas características operativas definidas:

- *Shotcrete Vía Húmeda:* El concreto se mezcla con agua por adelantado en la central para luego ser bombeado. Esta variante de la modalidad húmeda da lugar a una mejor homogeneidad de la mezcla, más compacidad y adherencia, pudiendo realizar grandes volúmenes de aplicación por medio de bomba. También, se genera baja cantidad de polvo, lo cual favorece la seguridad y la higiene en el trabajo. Las propiedades de durabilidad (baja absorción) son también superiores en el concreto proyectado siguiendo esta modalidad húmeda por un mejor control de la dosificación.
- *Shotcrete Vía Seca:* El agua se añade a la mezcla en la boquilla, cuando se proyecta. La mejor logística de esta modalidad lleva consigo un alto riesgo de heterogeneidad y un rebote superior.

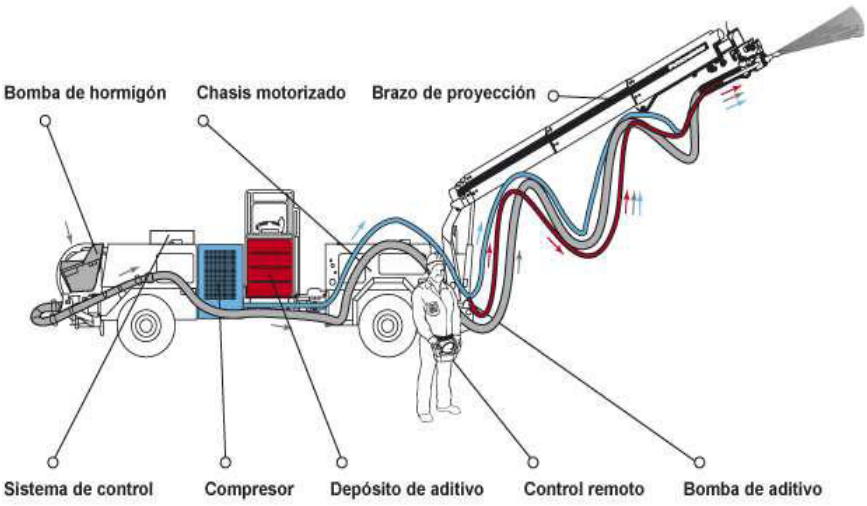
Las propiedades críticas del shotcrete incluyen la resistencia a la compresión y la capacidad de absorción de energía o tenacidad, la cual se evalúa comúnmente mediante ensayos de panel conforme a normas como ASTM C1550. En minería, la tenacidad corresponde a la capacidad del shotcrete para mantener resistencia residual después de la fisuración, lo cual resulta fundamental para controlar la caída de rocas en macizos deformables o inestables (ACI 506R-16, 2016; EFNARC, 2009). La absorción de agua es uno de los indicadores más relevantes de durabilidad, ya que representa una medida indirecta del volumen de vacíos y la porosidad del material. Una absorción elevada se asocia con mayor permeabilidad y conductividad hidráulica, lo que facilita la penetración de sales y agentes agresivos, como los sulfatos o cloruros, acelerando los mecanismos de deterioro del concreto proyectado (Neville, 2012; Thomas, 2011).

En sistemas agresivos como los encontrados en Atacocha, donde los valores geogénicos del agua son altos en sulfatos y magnesio; aparece un gran problema. El diseño geomecánico a partir de sistemas como RMR requiere alta tenacidad inicial y por lo tanto se utilizan fibras de acero para el shotcrete en macizos de mala calidad. Sin embargo, esta propiedad mecánica inicial es sensiblemente reducida en el contexto de entornos químicos agresivos en la corrosión, el principal mecanismo

de deterioro del concreto reforzado, lo cual, primero la corrosión que reduce la sección efectiva de las fibras de acero y, segundo deteriore la capacidad de absorción de energía del material (ACI 222R-16, 2016; Thomas, 2011). Es por ello que en trabajos de larga duración expuestos a aguas sulfatadas la utilización de fibras sintéticas ha sido consolidada en sistemas más durables. Pese a que se pueden presentar tenacidades iniciales ligeramente inferiores a las fibras metálicas.

Figura 3.

Componentes de un equipo robotizado para shotcrete (vía húmeda)



Nota. Imagen extraída de Putzmeister.

2.2.3.3.Propiedades en Estado Fresco

Las propiedades del shotcrete en estado fresco son aquellas que nos hacen referencia a su comportamiento justo después de realizar su mezcla y durante su aplicación, las que nos definen la capacidad de ser bombeado, proyectado, seguir adherido, así como manipulado en condiciones de ejecución en el ámbito subterráneo del mismo modo que en el tipo de obras que se ejecutan en obra civil o en edificación. Su importancia es crítica en la minería ya que la misma técnica debe dar lugar a resistencias tempranas que garanticen la seguridad del personal así como el avance de las labores (ACI 506R, 2016).

Trabajabilidad y consistencia

La trabajabilidad hará referencia a la facilidad para realizar la mezcla en la que se requiera ser bombeada y proyectada. Dicha propiedad dependerá de la relación agua/cemento, el tipo de granulometría, el tipo de contenido de finos y

sobre todo en el caso de caminar con aditivos reductores de agua o bien de superplastificantes. Las mezclas con una mayor trabajabilidad presentarán una mejor homogeneidad y sobre todo una menor rebote durante la aplicación (Neville, 2012).

Rebote (rebound)

El rebote es el porcentaje de material que no se adhiere a la superficie que se encuentra proyectada. En el primer caso (vía seca) se pueden alcanzar valores de entre el 20 % al 30 %, mientras que en la vía húmeda normalmente se encuentra en valores por debajo del 10 %. Un elevado rebote implica pérdidas económicas, un menor espesor efectivo y además una mayor porosidad superficial (EFNARC, 2009).

Tiempo de fraguado inicial y resistencia temprana

El shotcrete debe cultivar su resistencia muy rápido tras su puesta en obra. En minería se utilizan aditivos de fraguado acelerado que permiten superar los 1–2 MPa de resistencia prematura a las pocas horas de aplicación, asegurando la estabilización del macizo a tiempo, antes de que se alcance el tope de tiempo de autosostenimiento marcado por la RMR (Bieniawski, 1989).

Adherencia y compactación

Una buena adherencia entre el shotcrete y la superficie de la roca es crucial para el buen funcionamiento del sostenimiento. La humedad superficial, la rugosidad o la limpieza del fondo influyen de forma directa en este parámetro. La compactación depende de la energía de proyección, del ángulo de aplicación y del control del caudal de la mezcla (Neville, 2012).

Absorción de agua y permeabilidad inicial

El shotcrete vía húmeda tiene menos absorción inicial debido a su alta compactación, lo cual induce una disminución de la permeabilidad por consiguiente y, dicha disminución, merma la llegada de iones agresivos tales como los sulfatos y los cloruros en las horas iniciales de fraguado (Thomas, 2011).

2.2.3.4.Propiedades en Estado Endurecido

Las propiedades de la proyección de mortero en estado endurecido condicionan el comportamiento estructural del material y su funcionalidad para soportar la excavación a lo largo de la vida útil del mismo. Estas propiedades dependen de la calidad de los materiales empleados, la dosificación, el método de aplicación y el estado ambiental del proceso de curado.

Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión a 28 días se considera el parámetro de referencia para la evaluación del comportamiento mecánico del shotcrete. En minería subterránea, los valores típicos se encuentran normalmente comprendidos entre 25 y 40 MPa dependiendo de las condiciones geomecánicas y de la agresividad ambiental del entorno químico (Jalalifar et al., 2011).

Resistencia a flexión y tenacidad

La tenacidad es un criterio de vital importancia para controlar caída de rocas. El shotcrete con refuerzo de fibras (acero o sintéticas) mantiene resistencia residual con posterioridad a la fisuración, lo que permite absorber deformaciones notables del macizo (EFNARC, 2009; ASTM C1550, 2014). La resistencia residual posterior a la fisuración es especialmente importante en labores donde el macizo se encuentra con intensificación de fracturamiento o carga dinámica.

Módulo de elasticidad

El módulo elástico caracteriza la rigidez del material. Generalmente no es el parámetro más característico en la minería; influencia, eso sí, la deformabilidad global del sostenimiento, la capacidad de trabajar en combinación con los pernos o cables de anclaje.

Permeabilidad y absorción de agua

Baja permeabilidad es necesario para evitar la penetración de sulfatos, cloruros y magnesio. Los aportes de microsílice o de materiales puzolánicos

producen una permeabilidad muy reducida y aumentan la durabilidad en situaciones húmedas o agresivas.

Durabilidad química y física

El hormigón proyectado debe aguantar: ciclos de saturación-secado, penetración de iones agresivos, ataque de sulfatos y el magnesio, corrosión del reforzamiento metálico, lixiviación de $Ca(OH)_2$ (Skalny et al., 2002; Thomas, 2011). En ambientes con alto contenido en sulfatos o en medios ácidos, la resistencia química es tan importante como la resistencia mecánica.

2.2.3.5. Factores que Controlan la Durabilidad

Conocer la resistencia de un hormigón proyectado a compresión a partir de la edad es un factor importante para tener en cuenta la durabilidad de este. La durabilidad del hormigón proyectado viene determinada por la geología, la agresividad hidroquímica, el tipo de excavación y los requerimientos mecánicos. En minería mecanizada se utilizan dosificaciones que alcanzan 25–30 MPa a los 28 días (Jalalifar et al., 2011).

Para zonas de alta agresividad, como en las zonas de El Brocal o Yauli, se especifican mezclas empleando aditivos, microsílice, cementos resistentes a sulfatos, etc. para obtener una mejor tolerancia química (García et al., 2019). Destacar que la temperatura y la humedad, la presión del agua y la secuencia de la aplicación son factores operacionales que también influyen directamente en la durabilidad del sostenimiento (Hagan, 2003; Rostami et al., 2014).

En Perú, operaciones como San Cristóbal, Atacocha, El Porvenir, Yauli, etc. han desarrollado sus diseños empíricos donde modifican el valor de la relación agua/cemento, el contenido de fibras y la aplicación de aditivos, teniendo en cuenta la hidrogeoquímica local.

2.2.4. Interacciones entre Shotcrete y Agua Subterránea

La interacción química del hormigón proyectado en relación al agua subterránea es determinante para su vida útil. La agresividad de esta interacción

estará determinada por el pH, los sulfatos, los cloruros, el TDS, el Mg^{2+} y el flujo hidráulico (Appelo & Postma, 2005; Thomas, 2011).

2.2.4.1.Mecanismos de Lixiviación

La aplicación de shotcrete (hormigón proyectado), en la etapa del curado, genera lixiviados que pueden cambiar la calidad del agua. Varios estudios (Florez-Salas, 2024) han puesto de manifiesto que el agua residual arrastrada por el shotcrete en la Sierra Central del Perú u otros lugares afecta la calidad de los cuerpos de agua, ya que en ella se incrementan las concentraciones de metales y álcalis. En estos casos, las concentraciones de metales como el hierro, son superiores a los índices máximos permitidos para aguas tratadas (por encima del límite de referencia en calidad de aguas) y se utiliza cementos mezclados (con escoria) a fin de aplastar esto último.

2.2.4.2.Ataque por Sulfatos

El ataque por sulfatos (ESA) significa un todo un ataque por sulfatos del tipo físico-químico, que tiene lugar cuando los iones sulfato ($SO4^{2-}$) arrastrados por el agua (móvil) mediante el líquido en poro del shotcrete (hormigón proyectado) reaccionan con los componentes hidratados del cemento (en sí unos alisios y los aluminatos hidratados del cemento generados en el proceso) y la heterogeneidad en el que ataque sulfúreo (esa susceptibilidad está directamente relacionada) y esto se desencadena, al final, puede hacer reaccionar el hormigón respecto a la reactividad álcali-sílice (ASR), todo está disminuido con cementos de adiciones:

- *Formación de Yeso:* Los sulfatos reaccionan con el Ca(OH)2 del cemento en estado endurecido.
- *Formación de Etringita:* Los sulfatos reaccionan con los aluminatos hidratados de Calcio. Esta reacción es expansiva y puede causar severo agrietamiento y entonces separación del shotcrete, lo que se conoce como "ataque físico por sulfatos" (APS).
- *Descomposición de Silicatos (Ataque por Magnesio):* Cuando la agresividad se refiere a sulfato de magnesio, el Mg puede descomponer directamente los silicatos de calcio hidratados, que son la fase resistiría más importante del concreto, y esto sucede para pH<10.5.

Teniendo en cuenta además que el agua del sistema UM Atacocha ha sido caracterizada por este tipo de agua agresiva sulfatada-cálcica, la durabilidad del shotcrete queda amenazada. Si la agresividad del medio (concentración ilimitada de sulfato) permite seguir facilitando la difusión de estas sales, las reacciones expansivas se producirán de forma ininterrumpida y por tanto comprometerán la integridad del sostenimiento. Para ello es necesario recurrir a una matriz de muy alta compacidad (vía húmeda) y a cementos de características específicas de resistencia a sulfatos.

2.2.4.3.Corrosión de Fibras Metálicas

La corrosión de las fibras de acero en el shotcrete reforzado con fibras (SFRC) comporta una disminución de la sección transversal efectiva de las fibras; lo que, a su vez, repercute en las propiedades mecánicas del propio sostenimiento, que de esta forma establecerá una disminución significativa de la tenacidad y resistencia a la fatiga que el diseño propuesto por el RMR. En relación, con la geomecánica del macizo rocoso no muy bueno (Clase IV), el diseño que se fundamenta en la RMR hace que se presenten altas tenacidades para que se cubran las tareas de control de caída de roca que suele ser provocada por la utilización de fibras de acero; sin embargo, en un entorno geoquímico hostil como el que se produce en las unidades mineras de los Andes Centrales (agua sulfatada y potencial de alta concentración de metales y bajo pH), la durabilidad de las fibras de acero es escasa.

Esto representa para la ingeniería la necesidad de reconciliar la tenacidad geomecánica junto a la durabilidad geoquímica. Las fibras sintéticas, como el polipropileno, representan una buena solución a este conflicto, pues las fibras sintéticas son resistant al efecto corrosivo, así como a álcalis y ácidos. Las consecuencias son relevantes para la resistencia a la deformación, que controlará la aparición de grietas en la mezcla, dado que de ellas dependerán los resultados de las transgresiones geométricas en relación a las degradaciones mecánicas que las propias fibras de acero provocarían.

Relación con las Condiciones Hidrogeológicas

La interacción del shotcrete y el agua subterránea se convierte en un factor fundamental. Según reveló Kim et al. (2019), en ambientes con pH ácido, alta carga de sulfatos o elevada carga salina pueden aparecer procesos de lixiviación, disgregación del cemento o pérdida de adherencia. Para prevenir estos efectos se recomienda:

- Uso de aditivos específicos (inhibidores de corrosión, microsílice)
- Recubrimientos de manera secundaria o de doble capa de shotcrete
- Drenaje antes de realizar la aplicación.

2.2.4.4. Transporte Iónico y Difusión

El transporte de iones y la difusión son procesos de gran importancia que dominan la interacción química entre el agua subterránea y el shotcrete en el interior de las minas. Tales mecanismos son responsables de la rapidez con que los iones agresivos penetran en la matriz cementicia y provocan reacciones de deterioro, lo cual afecta directamente la durabilidad del sostenimiento (Mehta & Monteiro, 2014).

Difusión iónica

La difusión es el movimiento de los iones desde zonas de mayor concentración a zonas de menor concentración. En el shotcrete, la difusión se produce a través de las microfisuras y los poros capilares, de los que la conectividad y el tamaño de los mismos se encargan de controlar la velocidad de transporte (Neville, 2011). Una matriz densificada gracias a la adición de puzolanas — microsílice — hace que la difusividad sea baja debido a una mayor compactación de su estructura interna (ACI Committee 201, 2016; Thomas, 2013).

Para la predicción de la vida útil, la difusividad de los iones SO_4^{2-}, Mg^{2+} y Cl^- representa un parámetro de gran importancia, dado que son los solutos que provocan el deterioro en las minas con aguas geoquímicamente agresivas (Zhang et al., 2019).

Migración iónica

La migración iónica es el movimiento de los iones que tiene lugar por el efecto de los gradientes eléctricos, que pueden desarrollarse espontáneamente en medio subterráneo debido a la diferencia de carga entre el agua y la matriz cementicia o por las reacciones de corrosión en las fibras metálicas (Mehta & Monteiro, 2014). A pesar de que la migración se considera menos importante que la difusión, puede también acelerar la penetración de cloruros hacia las partes metálicas embebidas (Bertolini et al., 2014).

Permeabilidad y capilaridad

La permeabilidad del shotcrete determina el flujo advectivo del agua y de los solutos a través de la matriz. Una mayor permeabilidad implica un ingreso más rápido de los iones agresivos, mientras que una menor permeabilidad permite reducir las rutas de transporte (ACI 506R, 2016). La capilaridad es un fenómeno que tiene una importancia notable en las zonas sometidas a ciclos de humectación y secado, ya que puede favorecer la acumulación de sulfatos o cloruros próximos a la superficie exterior del revestimiento (Neville, 2011).

Microfisuración y mecanismos de transporte acelerado

La presencia de:

- microfisuras por retracción,
- discontinuidades generadas durante la proyección,
- fisuras inducidaspor tensiones mecánicas,
- expansión por reacciones químicas,

favorece la existencia de rutas preferenciales del transporte, aumentando exponencialmente la tasa de deterioro (Thomas, 2013; Zhang et al., 2019).

Interacción entre agua subterránea y estructura del shotcrete

Los entornos mineros están sujetos a una renovación continua del agua, ya que el flujo del agua favorece el recambio de iones en el contacto con el

sostenimiento, logrando de este modo un gradiente de concentración creciente que acelera el proceso de difusión. La difusión resulta especialmente relevante en lugares con filtraciones activas pues el sostenimiento está en contacto con un continuo recambio de solutos (Kim et al., 2019). La difusión y el transporte iónico en conjunto controlan el umbral, el avance y la severidad de los ataques químicos, los cuales condicionan la vida del shotcrete.

2.2.4.5. Efectos en la Resistencia y Vida Útil

Los procesos de transporte iónico y las reacciones químicas asociadas generan efectos directos sobre las propiedades mecánicas del shotcrete y, por tanto, sobre su vida útil estructural. La degradación no implica únicamente pérdidas de resistencia y el crecimiento de la porosidad, sino también de la estructura de cohesión interna capaz de comprometer la estabilidad de los calados subterráneos (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014).

Tabla 10.
Compatibilidad del shotcrete con condiciones hidroquinona

Parámetro del agua	Riesgo para el shotcrete	Efectos observables	Medidas correctivas sugeridas
pH < 6	Ataque ácido	Pérdida de resistencia, lixiviación	Uso de aditivos alcalinos, doble capa de shotcrete
Sulfatos (>250 mg/L)	Reacción expansiva	Fisuración, desintegración interna	Shotcrete con bajo contenido de aluminato
Cloruros (>100 mg/L)	Corrosión de fibras	Oxidación, pérdida de integridad	Fibras sintéticas, inhibidores de corrosión
TDS (>2000 mg/L)	Disolución y porosidad	Baja adherencia, fragilidad	Shotcrete denso, control de infiltraciones

Nota. Elaboración propia basada en ACI 201.2R-16 y Neville, 2011

Reducción de resistencia mecánica

El ataque químico por sulfatos, magnesio o pH ácido degrada progresivamente los productos hidratados del cemento, los hidratos de calcio y los geles C-S-H fundamentalmente, por lo que se pierde:

- disminuye la resistencia a la compresión,

- se reduce la resistencia a flexión,
- disminuye la tenacidad residual,
- además, se favorece la formación de microfisuras internas.

Esto está ampliamente documentado en estudios de durabilidad de cementos expuestos a medios agresivos (Neville, 2011; Zhang et al., 2019; Thomas, 2013), y en terrenos con altas concentraciones de sulfatos la formación de etringita expansiva origina un descenso de más del 30 % de resistencia en pocos meses, según el nivel de exposición (Zhang et al., 2019).

Incremento de porosidad y permeabilidad

El ataque químico por lixiviación de hidróxido de calcio (CH) y la descomposición de geles C-S-H incrementan la porosidad capilar. Esta porosidad favorece la posterior entrada de iones agresivos, siendo así un ciclo que favorece el deterioro (Mehta & Monteiro, 2014). El incremento en la permeabilidad es uno de los indicadores más importantes del deterioro químico, ya que controla la velocidad de entrada de sulfatos, cloruros o magnesio (ACI Committee 201, 2016).

Corrosión del refuerzo metálico

En el caso de la proyección de hormigón con fibras en acero o con enmallado de metales, se puede dar en el ataque de los cloruros la corrosión localizada que da lugar a una merma de la sección efectiva del arriegador y, por el contrario, a una merma de la tenacidad post fisuración. La corrosión genera expansión volumétrica y promueve la fisuración del revestimiento (Bertolini et al., 2014). Esta desventaja se ve agravada en minas con aguas cloruradas o con aguas de elevada conductividad eléctrica.

Pérdida de adherencia con el macizo rocoso

El deterioro químico puede dar lugar también a una disminución de la capacidad del hormigón proyectado para mantener la adherencia a la superficie de la roca, lo que hace que no pueda cumplir el papel de soporte inmediato. Esta falta de adherencia puede dar lugar a zonas como aquellas donde se presentan caudales por agua a presión o zonas sujetas a filtraciones continuas (Kim et al., 2019).

Disminución de la vida útil del sostenimiento

El deterioro químico, la pérdida de cohesión, la fisuración y el aumento de permeabilidad produce una disminución de la duración del hormigón proyectado. En condiciones de agresividad extrema (SO_4^{2-} > 1,500 mg/L, Mg^{2+} > 300 mg/L, pH < 6), la duración del soporte puede descender considerablemente si no se emplean cementos resistentes a sulfatos, adiciones puzolánicas o fibras sintéticas, entre otros (Thomas, 2013; Zhang et al., 2019).

En términos generales:

- una mezcla correctamente elaborada con baja permeabilidad y con adiciones minerales puede tener una buena durabilidad más de 20–30 años en condiciones moderadas;
- en ambientes altamente agresivos, la vida útil puede llegar a ser inferior a 5–10 años, si no se toman medidas de protección complementarias.

Importancia del diseño hidroquímico del shotcrete

La vida útil depende fuertemente de:

- la densidad de la matriz,
- la capacidad de resistir difusión iónica,
- el tipo de cemento,
- el uso de adiciones puzolánicas,
- el control de la relación agua/cemento,
- la calidad de la aplicación en obra.

El diseño debe orientarse hacia la caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea, a fin de asegurar que la mezcla sea adecuada para su entorno de exposición (ACI 506R-16; Mehta & Monteiro, 2014).

2.2.5. Normativa Ambiental en Minería Subterránea en el Perú

La minería subterránea en el Perú se desarrolla en el marco de una normativa ambiental que abarca su prevención, mitigación y control de los impactos causados

sobre el recurso hídrico, el subsuelo o la ecosistemas asociados, y está conformada por leyes, reglamentos y estándares técnicos que regulan el tratamiento de aguas residuales, la calidad de ellas, y el uso de materiales de sostenimiento, particularmente el shotcrete dada su importancia en la relación con aguas subterráneas (MINAM, 2017; ANA, 2020), por ello a continuación la normativa aparece distribuida en los siguientes dos componentes: la normativa internacional aplicable al shotcrete y los límites de calidad del agua que establecen las normativas en el Perú.

2.2.5.1.Normas Internacionales para Shotcrete

La normativa peruana no incluye normativa normativa específicamente destinada al shotcrete, pero sí se aplican normas internacionales de carácter general y que son reguladoras de su producción, ejecución y perdurabilidad, necesarios para el shotcrete debido a la posibilidad de que este modifique parámetros fisicoquímicos del agua subterránea, sobre todo cuando se trata de excavaciones que presentan humedad o filtraciones.

En primer lugar, las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM) forman una referencia técnica que respalda y regula la calidad del shotcrete. Las normas ASTMC1436, que determina las normas por las cuales se debe proyectar, ASTMC1604/C1604M (una norma que regula la determinación de la resistencia temprana y el control del tiempo de fraguado en condiciones húmedas) y ASTM C1140/C1140M (que establece los procedimientos de ensayo de los paneles proyectados) nos permiten verificar, entre otros, propiedades como la permeabilidad, adherencia y resistencia a la erosión en condiciones de excavaciones subterráneas.

Además, el American Concrete Institute (ACI) elabora documentos de consulta ampliamente utilizados en proyectos mineros. Entre sus documentos tenemos el ACI 506R – Shotcrete Guide que presenta criterios de diseño, dosificación y control de calidad; el ACI 506.2 – Specification for Shotcrete del que se extraen las especificaciones contractuales para la ejecución y aceptación de shotcrete aplicado en obra. Ambos documentos resultan clave para que el shotcrete garantice estándares de desempeño conforme al contexto de aplicación, también

para condiciones de ambientes subterráneos húmedos con riesgo de lixiviación alcalina.

De forma complementaria, varias operaciones mineras en el país ya consideran la normativa europea EN 14487 sobre requisitos del shotcrete, posibilidad de modificación en parámetros de durabilidad o resistencia química. Entre tanto, también se considera la directrices EFNARC sobre aplicación mecanizada (shotcrete robotizado) y sobre control del rebote, espesores mínimos o tolerancias operativas (European Committee for Standardization, 2006).

La redacción de la normativa internacional es clave para la correcta ejecución de shotcrete aplicado en excavaciones subterráneas que aseguren su correcto desempeño, la no modificación en la calidad del agua o alterar químicamente en la mesa del entorno inmediato.

2.2.5.2. Límites Ambientales de Calidad de Agua

La gestión de este recurso hídrico es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta al tratar la minería subterránea. Puesto que la infiltración natural y la interacción del shotcrete con el agua subterránea pueden suponer un cambio en su composición química, en Perú se han fijado normas que regulan su uso, su vertido y su calidad.

La Ley de Recursos Hídricos N.º 29338 proclama al agua como un recurso natural estratégico y establece principios de sostenibilidad, igualdad, y gestión integrada por cuencas. En ella se fijan que toda actividad minera ha de requerir las autorizaciones correspondientes para el uso y vertido de aguas tratadas, así como límites máximos de la carga contaminante que serán vigilados por parte de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

El Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades Minero-Metalúrgicas establece unas obligaciones específicas de identificación, prevención y mitigación de impactos ambientales elaborando instrumentos de gestión ambiental (Ej. EIA-d), planes de manejo de aguas residuales y realizando monitoreos hidroquímicos de forma periódica (máx. por meses) en las zonas de uso

del shotcrete en presencia de agua subterránea (Ministerio de Energía y Minas, 2014).

Con relación a los criterios, el DS 004-2017-MINAM reproduce los Estandares de Calidad Ambiental (ECA) Agua, que estipulan las concentraciones máximas empleando contaminantes como arsénico, plomo, mercurio, cadmio, sulfatos y parámetros fisicoquímicos, como el pH o conductividad (MINAM, 2017). Estos niveles son relevantes para la minería subterránea dado que el shotcrete puede aumentar el pH del agua superior a los rangos permitidos, debido a su naturaleza cementante.

El cumplimiento de las normas resulta responsabilidad de las entidades como la Autoridad Nacional del Agua (ANA) (quien otorga el uso y vertimientos) y el OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental), ya que se encarga de la vigilancia ambiental y aplica medidas correctivas o sancionadoras de las infracciones. La Ley General del Ambiente N.º 28611 también establece el principio de prevención y la responsabilidad ambiental por daños provocados a los ecosistemas.

De este modo, el marco normativo logrado permite que las operaciones mineras de forma subterránea ejecuten sistemas de gestión ambiental, que incluyan monitoreos de agua subterránea, caracterización fisicoquímica de efluentes, control del desempeño del shotcrete (control del pH de los efluentes) y aplicación de tecnologías de tratamiento para maquinizar la calidad del agua.

2.3.Definición de términos

- Acuífero: Formación geológica con capacidad de almacenamiento y transmitancia de agua subterránea a través de poros o fracturas. En minería subterránea controla la magnitud y dirección de flujo hacia labores.
- Agresividad del agua: Propiedad del agua que determina su capacidad de perjudicar a los materiales cementicios o metálicos, también se ve determinada por el pH, concentración de sulfatos, cloruros, TDS y alcalinidad.

- Ataque por sulfatos: Proceso químico por el que los iones sulfato reaccionan con los aluminatos del cemento generando etringita y yeso, lo que conlleva expansión, fisuración y pérdida de resistencia del shotcrete
- Conductividad eléctrica (CE): Medida de la capacidad que tiene el agua de conducir corriente eléctrica, asociada al contenido de sales disueltas. Altos valores de CE indican posible elevada mineralización y capacidad de ataque químico al shotcrete.
- Conductividad hidráulica (K): Parámetro que mide la facilidad con la que el agua fluye a través del macizo rocoso. En rocas duras depende principalmente de la conectividad de fracturas.
- Conductividad hidráulica (K): Propiedad que mide la capacidad del macizo rocoso en transmitir agua. Controla la magnitud del flujo subterráneo hacia las labores y condiciona la necesidad de drenaje y del ajuste del sostenimiento..
- Corrosión de las fibras metálicas: Deterioro electroquímico/oxidativo del refuerzo metálico del shotcrete por efecto de agua ácida o agua con cloruros. Disminución de la tenacidad, de la ductilidad y de la capacidad de absorción de energía del sostenimiento.
- Dureza del agua: Concentración del Ca^{2+} y del Mg^{2+}. El Mg^{2+} puede debilitar la estabilidad de los geles de C-S-H del cemento, tal como hace con la matriz del shotcrete.
- Etringita: Compuesto expansivo que por efecto del agua aparece en el cemento hidratado como un producto de reacción entre sulfatos y aluminatos al comenzar la hidratación de un cemento con aluminatos. Su crecimiento interno produce fisuras del shotcrete.
- Fractura o discontinuidad: Plano de debilidad de la roca para el flujo preferencial del agua. Su apertura, persistencia e interconexión son la base para definir la permeabilidad secundaria.
- Hidrogeología: Parte de las geociencias que estudia la vulvancia, el movimiento y propiedades del agua subterránea en interacción con el macizo rocoso.
- Hidrogeoquímica: Parte de la hidrogeología que se ocupa de la composición química del agua subterránea y de las reacciones que tienen lugar entre el agua, los minerales y los materiales de sostenimiento.

- Macizo fracturado: un tipo de roca que presenta una notable cantidad de planos de debilidad (fracturas, fallas, diaclasas). Esta variable controla la permeabilidad secundaria y es un valor determinante en el comportamiento hidráulico, en términos de minería subterránea.
- Macizo: conjunto de roca intacta y discontinuidades que configuran el medio de la excavación. Las características de esta roca determinarán las propiedades del comportamiento geomecánico y, por tanto, condicionarán el los requerimientos de sostenimiento.
- Permeabilidad secundaria: capacidad minera de un macizo para permitir fluir el agua en fracturas o discontinuidades. Forma el patrón principal del flujo de agua en la roca dura.
- Permeabilidad: capacidad de un medio geológico determinado para permitir el flujo de agua en su red de poros o en sus fallas o discontinuidades. En las rocas duras, la permeabilidad depende de las propiedades de conectividad de esas discontinuidades.
- pH: índice que nos permite determinar la acidez o la alcalinidad del agua. Un agua ácida o con pH muy bajo generará condiciones agresivas que aceleran el proceso de corrosión y la posible disolución de compuestos cementicios.
- Presión de poros: presión transmitida por el agua que se encuentra en la red de fracturas o en la red de intersticios en un macizo. Disminuye la resistencia efectiva de la roca y puede tomar forma de inestabilidad o bien desprendimientos.
- Rebote (rebound): Porcentaje en el que se mezcla el shotcrete que no se adhiere al macizo durante la proyección y se pierde como material expulsado del proceso, a la vez que es un indicador de la eficiencia de aplicación y depende del tipo de humedad del frente, los aditivos y la técnica de lanzado.
- Relación agua/cemento (A/C): Proporción del volumen de agua respecto al volumen de cemento en la mezcla. La relación agua/cemento tiene una influencia sobresaliente en la resistencia, la impermeabilidad, la porosidad y la durabilidad del shotcrete cuando es necesario aplicar en entornos agresivos.
- Shotcrete: Mezcla de concreto o de mortero proyectado bajo presión sobre superficies rocosas para estabilizar excavaciones, que depende del diseño de

mezcla, de los aditivos, y de las condiciones hidrogeológicas en las que se produce.

- Sólidos Disueltos Totales (TDS): Cantidad total de sales y minerales que contiene el agua, que en elevadas concentraciones incrementa el riesgo de reacciones indeseables con el cemento.
- Sostenimiento permanente: Sistema de sostenimiento diseñado para mantener estable la excavación a largo plazo; en el caso de la presente tesis, hace referencia principalmente al shotcrete optimizado según las condiciones hidrogeológicas.
- Sulfatos (SO_4^{2-}): Iones responsables del ataque por sulfatos en materiales cementicios, formando compuestos expansivos como etringita que provocan fisuración y pérdida de resistencia.
- Tipología hidroquímica: Tipificación del agua subterránea de acuerdo a aniones y cationes predominantes que permite poder clasificar el agua subterránea sulfatada, bicarbonatada o mixta dependiendo de su mayor potencial de agresividad frente a materiales cementicios.

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1.Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de Investigación

La investigación es clasificada como investigación aplicada. Hernández, Fernández y Baptista, 2014, declaran que la investigación aplicada es aquella que "intenta dar respuesta a problemas concretos mediante la aplicación del conocimiento existente, con el propósito de perfeccionar procesos o sistemas reales". De igual forma, Sabino (1992) de las investigaciones, propugnando este tipo de investigación como aquella investigación que "tiene como objetivo la transformación o mejora de una determinada realidad mediante la aplicación práctica del conocimiento científico".

En la presente tesis, la investigación es aplicada ya que está orientada a dar solución a una problemática técnica concreta: la optimización del sostenimiento con shotcrete en labores mineras subterráneas, considerando las condiciones hidrogeológicas del macizo rocoso, así como la interacción fisicoquímica del agua con la mezcla proyectada. Esta investigación usa fundamentos de hidrogeología, geotecnia, de mecánica de rocas para realizar propuestas prácticas de mejora en la dosificación, espesor y ejecución del shotcrete, ajustadas a los contextos de cada una de las unidades mineras.

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de la presente investigación es explicativo. A partir de la definición de Kerlinger y Lee (2002), entendemos que la investigación explicativa tiene la finalidad de "indagar las causas que originan ciertos fenómenos y saber por qué ocurren". Asimismo Hernández, Fernández y Baptista (2014) nos indican que este nivel "indaga las relaciones de causalidad entre las variable explicando cómo una afecta a la otra", con lo que este enfoque de la investigación no solo describe las características hidrogeológicas del macizo rocoso y la composición del agua subterránea, sino que también explica la relación causal entre las condiciones hidrogeológicas y el comportamiento estructural del sostenimiento con shotcrete, para comprender, además, cómo los parámetros hidroquímicos, la infiltración y las

propiedades mecánicas del macizo rocoso influyen en la durabilidad, adherencia y comportamiento del shotcrete, así como proponer modificaciones en la mezcla, en el espesor del shotcrete y en el diseño del sostenimiento.

3.2.Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, transversal y observacional; siguiendo a Hernández, Fernández y Baptista (2014), un estudio no experimental es aquel donde "no se manipulan deliberadamente las variables, sino que se observan tal y como se presentan en su contexto natural"; esto se ajusta a la presente investigación, en la cual las variables, condiciones hidrogeológicas, parámetros fisicoquímicos del agua, comportamiento del shotcrete, etc. no fueron intervenidas por el investigador sino que fueron registradas tal como aparecen en las unidades mineras.

Es transversal, puesto que, como describen Hernández et al. (2014), los estudios transversales "recogen datos en un único momento, para describir o analizar las variables, en un momento determinado"; en la presente tesis la información fue obtenida durante una etapa determinada de inspección geomecánica, hidrogeológica y muestreo. También es observacional, siguiendo a Dankhe (1986) quien afirma que en este tipo de diseño "el investigador registra sistemáticamente las condiciones existentes del fenómeno sin manipularlo"; en esta tesis se observan y analizan las condiciones reales del macizo rocoso y del shotcrete aplicado, complementadas con ensayos de laboratorios que simulan la interacción del agua con el material sin modificar el sistema hidrogeológico existente.

Aunque se trata de un modelo de diseño no experimental, establece relaciones causales de las variables hidroquímicas respecto del desempeño del shotcrete, ayudando a seleccionar la mezcla y el espesor más idóneo al comportamiento de las condiciones hidrogeológicas considerado.

3.3.Ámbito temporal y espacial

3.3.1. Ámbito temporal

La investigación se llevó a cabo el año 2024, periodo durante el cual se procedió a recopilar, analizar y procesar la información hidrogeológica,

geomecánica y fisicoquímica asociada a las cinco unidades mineras en evaluación; para dicho periodo se recogieron datos ya mencionados de:

- Mediciones de infiltración y caudales,
- Registros de laboratorio sobre parámetros fisicoquímicos del agua (pH, conductividad, TDS, dureza y sulfatos),
- Reportes geomecánicos (RMR, GSI, clasificación estructural, litología),
- Información histórica de sostenimiento y dosificaciones de shotcrete,
- Análisis de desempeño del shotcrete previamente aplicado en labores permanentes.

Posteriormente, también en el año 2024, se llevó a cabo la realización de ensayos de laboratorio que contemplaban simular la interacción del agua subterránea y el shotcrete, dirigidos a evaluar su estabilidad fisicoquímica. La información fue sistematizada para poder correlacionar las condiciones hidrogeológicas y las propiedades del agua con la respuesta mecánica y durabilidad del shotcrete, sobre la cual se llegaron a plantear las propuestas de optimización de la dosificación, espesor y aplicación del sostenimiento, adaptándolas a las características del macizo rocoso y el ambiente hidrogeológico propio de cada unidad minera.

3.3.2. Ámbito espacial

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en cinco unidades mineras subterráneas que se ubicaron en la Sierra Central del Perú, que a su vez se encuentra en el interior del cinturón metalogénico de Yauli–Pasco. Esta región presenta:

- Macizos rocosos altamente fracturados,
- Variabilidad litológica significativa,
- Condiciones hidrogeológicas complejas,
- Presencia de agua con potencial agresividad química (DAM, sulfatos, metales disueltos).

Estas condiciones provocan que el sostenimiento con shotcrete se convierta en un elemento gravitante para la estabilidad de las excavaciones. La descripción de las unidades mineras objeto de estudio se encuentra a continuación:

Unidad Minera Andaychagua (Volcán Compañía Minera S.A.A.). Se encuentra situada en el distrito de Huay Huay, provincia de Yauli, Junín, a 4,400 m s. n. m. Se caracteriza por un acuífero heterogéneo, fracturado, con caudales apreciables, íntimamente relacionados con las fracturas y los contactos litológicos. La infiltración es importante, y se producen condiciones que alteran considerablemente la adherencia, el fraguado inicial, así como la durabilidad del shotcrete.

Unidad Minera San Cristóbal. Se encuentra dentro del complejo minero Yauli, en el distrito de Huay Huay, caracterizada por filitas del Grupo Excélsior y estructuras. El flujo subterráneo es dependiente, prácticamente en su totalidad, de la permeabilidad secundaria, existiendo en ella drenaje ácido de mina (DAM) y pequeñas filtraciones. Presenta las condiciones del agua que impactan directamente en la adherencia y resistencia del shotcrete.

Unidad Minera Carahuacra. Situada en el propio distrito de Yauli, contiene secuencias del Grupo Excélsior, Goyllarisquizga y cuerpos intrusivos. Presenta un acuífero fracturado muy heterogéneo, donde los flujos son preferenciales en las vetas y zonas fisuradas. Tiene condiciones de riesgo debidas a las infiltraciones y a los impactos potenciales del DAM, que afectan a la adhesión de las estructuras de sostenimiento y a la durabilidad de las mismas.

Unidad Minera El Porvenir – Milpo (Nexa Resources). Localizada en Pasco, asentada sobre la Formación Machay (calizas de permeabilidad media-alta, que presentan karstificación moderada, generando conductos preferenciales que afectan la velocidad de flujo y aanumentan la agresividad química del agua subterránea (sulfatos, metales disueltos); es una de las unidades donde la interacción agua-shotcrete adquiere mayor relevancia.

Unidad Minera Atacocha (Nexa Resources). También ubicada en Pasco, vinculada desde el punto de vista geológico a la Formación Machay y a la Formación Chambará. Tiene un sistema hidrogeológico donde la permeabilidad es elevada (calizas brechadas), donde hay evidencias de agua sulfatada-cálcica de alta concentración de metales (Fe, Mn, Zn, As) y donde las condiciones hidroquímicas son agresivas para shotcrete y las fibras metálicas.

3.4.Población y muestra

3.4.1. Población

La población de la presente investigación corresponde a la totalidad de las unidades mineras subterráneas que utilizan shotcrete como sistema de sostenibilidad de la estructura de las labores permanentes y que están ubicadas en la Sierra Central del Perú; todas estas operaciones guardan comportamiento similar desde el punto de vista geológico - geotécnico, presentando las condiciones siguientes:

- Presencia de macizos rocosos fracturados o brechados,
- Variabilidad en los niveles de humedad e infiltración,
- Condiciones hidrogeológicas complejas,
- Esfuerzos in situ moderados a altos,
- Necesidad de aplicar shotcrete con acelerantes y fibras.

3.4.2. Muestra

De acuerdo a Otzen y Manterola (2017), el muestreo por conveniencia se aprecia como un método que permite escoger los casos que son accesibles y los pertinentes para el estudio; o el muestreo no probabilístico intencional, explica Hernández, Fernández y Baptista (2014), cuando se escogen unidades que cumplen ciertos criterios que están relacionados con los propósitos de la investigación.

Siguiendo estos fundamentos, la muestra se obtuvo con un muestreo no probabilístico intencional o por conveniencia, eligiendo unidades mineras que poseen información técnica completa (hidrogeología, geomecánica y sostenimiento) que son representativas y típicas de las condiciones de la Sierra Central.

La muestra estuvo conformada por cinco unidades mineras de tipo subterránea: Andaychagua, San Cristóbal, Carahuacra, El Porvenir y Atacocha.

Todas estas unidades comprenden los casos analizados para evaluar dicha interacción entre las condiciones hidrogeológicas y la respuesta del shotcrete; cada mina actúa como una unidad analítica permitiendo la comparación del

comportamiento del sostenimiento frente a diferentes condiciones de agua subterránea y calidad del macizo rocoso.

3.5.Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La recolección de los datos en esta investigación está basada en fuentes documentales, ya que no se desarrolló trabajo de campo propio. Para Hernández, Fernández y Baptista (2014) esta forma de recolección corresponde a la búsqueda de datos que provenían de informes técnicos, de registros de antecedentes o de documentación técnica especializada disponible. En este sentido, la información que se ha utilizado fue obtenida de estudios geo mecánicos, hidrogeológicos y de sostenimiento elaborados previamente en las unidades mineras que seleccionamos. Para ello, se aplicaron las siguientes técnicas:

3.5.1. Revisión documental especializada

Se realizó una revisión sistemática de informes técnicos, anexos, reportes de ensayos de laboratorio, mapeos geológicos, clasificaciones geomecánicas (RMR, Q, GSI), dosificaciones de shotcrete e informes de modelamiento numérico. Esta revisión permitió identificar parámetros relevantes tanto del macizo rocoso como del comportamiento del sostenimiento.

3.5.2. Extracción y sistematización de información técnica

La información más relevante, como dominios geomecánicos, condiciones de humedad, parámetros de resistencia, características del agua subterránea, espesores y mezclas de shotcrete, fue ordenada en plantillas digitales estructuradas al objeto de facilitar su análisis y comparación entre las diferentes unidades mineras.

3.5.3. Análisis comparativo y síntesis técnica

Se llevó a cabo un análisis comparativo entre las distintas unidades de explotación de las que proviene la información, con el objetivo de poder determinar pautas, diferencias y relaciones entre la calidad del macizo rocoso, las condiciones hidrogeológicas y el rendimiento del shotcrete. Este proceso de comparación del

análisis permite conseguir criterios técnicos que amparan la propia propuesta de optimización del sostenimiento.

3.6.Validación de los instrumentos

La validación de los instrumentos utilizados en esta investigación científica está comprendida en la calidad, trazabilidad y rigor técnico de los estudios geomecánicos, hidrogeológicos y de sostenimiento que las distintas unidades de explotación ya tenían previamente a ser utilizados en el análisis; dada la naturaleza de la investigación documental, sin ejecución de trabajo de campo ni ensayo propio, la confianza de los datos dependerá directamente de la consistencia y nivel técnico de las fuentes primarias revisadas. Para la validación se garantiza mediante las siguientes maneras:

3.6.1. Reconocimiento de los métodos técnicos empleados en los estudios originales

Los informes utilizados han sido elaborados mediante metodologías previamente reconocidas internacionalmente en ingeniería de rocas como son las siguientes:

- RMR (Bieniawski)
- Q-System (Barton y colaboradores)
- GSI (Hoek y Brown)
- Modelamientos numéricos en Phase2, RocSupport y FLAC3D

Estas metodologías cuentan con validación científica, un uso establecido en la minería subterránea y un respaldo técnico dado por las normas y literatura especializada, lo cual garantiza que los parámetros obtienen de procedimientos sería de confianza.

3.6.2. Verificación interna de los documentos revisados

Cada informe técnico empleado incluye:

- Anexos con mediciones de campo,
- Resultados de ensayos de laboratorio,
- Registros de soporte aplicados,
- Curvas y tablas de los análisis numéricos,
- Diagramas de sostenimiento recomendados.

Para esta evaluación se realizó una confrontación entre cada valor mencionado con sus respectivos adjuntos y tablas de origen, de forma de asegurar la coherencia interna de los datos, además de reducir la posibilidad de errores de interpretación o de transcripción.

3.7. Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos

La presentación y el análisis de datos que da origen a esta investigación se resolvió desde la revisión, organización y sistematización relativa a información proveniente de la revisión de estudios técnicos anteriores que examinan la relación entre agua subterránea, macizo rocoso y comportamiento del shotcrete en minería subterránea. Al no considerarse la obtención de datos experimentales propios, el análisis se conduciría bajo el método de interpretación documental, comparación técnica y por síntesis analítica de la información ya existente, con la intención de formular propuestas de dosificación de shotcrete acorde a los niveles de agresividad de agua identificados en los distintos casos de unidades mineras.

Dentro de la recopilación de información se revisaron:

- Estudios de esfuerzos in situ en zonas de características geológicas similares,
- Registros históricos del comportamiento de excavaciones previas,
- Informes geotécnicos internos de estabilidad,
- Diseños de sostenimiento de excavaciones aplicados en secciones con clasificaciones geomecánicas equivalentes.

Dichos documentos contribuyeron a contrastar la real respuesta del macizo con las recomendaciones técnicas y los criterios de diseño de sostenimiento utilizados en las operaciones mineras.

3.7.1. Método de análisis documental y técnico comparativo

La información se procesará a través de análisis documental, que incluye la identificación, selección y evaluación crítica de fuentes técnicas (informes, tesis, autos de laboratorio, recogida de datos en el campo, documentos internos); a continuación se aplicará el método comparativo, dirigido a identificar similitudes y diferencias entre:

- Las características fisicoquímicas del agua (pH, sulfatos, cloruros, TDS),
- Las condiciones geomecánicas del macizo rocoso,
- El rendimiento mecánico y la durabilidad del shotcrete utilizado.

Las informaciones más relevantes se ordenarán a través de cuadros comparativos, matrix, y resúmenes interpretativos que permitan identificar tendencias, patrones y comportamientos comunes a las unidades analizadas.

3.7.2. Técnicas de clasificación y síntesis de información

Se elaborará una clasificación temática, asociada a los niveles de agresividad del agua (baja, media y alta), precisando la información recogida según:

- La composición química del agua subterránea,
- La respuesta del shotcrete frente a diferentes ambientes hidroquímicos,
- El tipo de mezcla y su desempeño reportado.

Asimismo, se aplicará una técnica de síntesis analítica, que agrupará los resultados de cada estudio con las bases conceptuales y recomendaciones de dosificación de la literatura técnica. Los resultados serán presentados en forma de:

- Tablas comparativas,
- Gráficos interpretativos,

Fichas técnicas que relacionan la composición del agua con los tipos de mezclas evaluadas y su desempeño estructural.

3.7.3. Método de correlación teórica y propuesta de aplicación

Finalmente se utilizará un método de correlación teórica, por el que se analizarán las relaciones lógicas que existen entre:

- Los niveles de agresividad del agua subterránea,
- Los parámetros geomecánicos del macizo rocoso,
- Las mezclas y espesores óptimos de shotcrete recomendados.

La correlación no es de tipo experimental, sino interpretativo, derivado de la propia integración de los estudios previos y criterios técnicos de sostenimiento. De este análisis se derivan:

- Matrices de relación entre agua–roca–shotcrete,
- Fichas de recomendación por unidad minera.

- Propuestas de dosificación ajustadas a las condiciones hidrogeológicas y geomecánicas de cada zona,

Un esquema práctico de aplicación para facilitar la implementación del sostenimiento en campo.

3.8.Procedimientos

El procedimiento desarrollado en la presente investigación no consistió en la realización de ensayos experimentales propios, sino en un proceso técnico-analítico basado en la recogida, evaluación y sistematización de información hidrogeológica, hidroquímica y geomecánica, del desempeño del shotcrete procedente de documentos oficiales, informes de laboratorio y reportes operacionales de las unidades mineras estudiadas. A partir de este conjunto de elementos de juicio se derivó una propuesta de dosificación de shotcrete adecuada a las condiciones particulares de cada macizo rocoso. El procedimiento general se estructuró en las siguientes fases:

3.8.1. Recopilación de información técnica

Se recopiló toda la información de la memoria y que pudiese estar disponible en las unidades mineras seleccionadas. Consistía de:

- Informes hidrogeológicos (caracterización del flujo subterráneo, zonas de recarga, permeabilidad, presencia de acuíferos confinados).
- Resultados de análisis fisicoquímicos del agua (pH, CE, TDS, sulfatos, dureza, metales disueltos).
- Reportes geomecánicos (clasificaciones RMR, GSI, mapeos estructurales, condición del macizo).
- Informes de sostenimiento y dosificaciones de shotcrete previamente aplicadas.
- Reglamentos, estándares internacionales (ACI, ASTM, EFNARC) y normativas peruanas aplicables.

Toda esta información fue recogida en forma documental que constituyó la base técnica para el análisis.

3.8.2. Organización y clasificación de la información

La información recopilada fue organizada de acuerdo a ejes temáticos principales que agrupaban la información en cuatro tal que:

- Hidrogeología del macizo rocoso.

  Donde fueron clasificados los niveles de la fracturación, permeabilidad, existencia de flujos activos, presión hidráulica todo esto distribuido en la memoria.
- Hidroquímica del agua subterránea.

  Los resultados fueron agrupados por naturaleza iónica, agresividad (SO_4^{2-}, Mg^{2+}, Cl^-), mineralización y pH.
- Condiciones geomecánicas.

  Aquí fueron discriminadas las categorías RMR/GSI y las condiciones que dejan su huella en sostenimiento.
- Desempeño del shotcrete en campo.

  Se analizaron los espesores aplicados, tipos de fibras, rebote, fallas observadas y vida útil estimada.

3.8.3. Análisis documental y técnico comparativo

Por medio del análisis comparativo se evaluó:

- Compatibilidad entre las condiciones hidroquímicas y las dosificaciones previamente utilizadas.
- Casos donde el shotcrete mostró deterioro o pérdida de adherencia.
- Requerimientos según la agresividad del agua y el nivel de fracturamiento del macizo.
- Relación entre características químicas del agua y procesos de lixiviación, corrosión o formación de etringita reportados en los documentos analizados.

Este análisis llevó a definir los factores determinantes desde los cuales se condiciona la durabilidad del shotcrete en cada unidad minera.

3.8.4. Integración de resultados hidrogeológicos, hidroquímicos y geomecánicos

Con la información ya sistematizada se analizó cada unidad minera en la que se integraron:

- Calidad y agresividad química del agua.
- Condición geomecánica del macizo (clasificación RMR/GSI).
- Caudal y tipo de infiltración.
- Tipo de sostenimiento existente.
- Riesgos de deterioro del shotcrete.

La integración de la información analizada lleva a definir las necesidades reales de durabilidad y resistencia para cada escenario.

3.8.5. Propuesta técnica de dosificación del shotcrete

A partir del análisis integrado se propone para cada unidad minera:

- Tipo de cemento adecuado (Tipo I, II, V según agresividad de sulfatos).
- El contenido recomendado de microsílice o puzolanas que debe contener la mezcla para mejorar la impermeabilidad.
- Tipo y cantidad de fibras (sintéticas o metálicas según riesgo de corrosión).
- Aditivos necesarios (plastificantes, acelerantes y, de ser necesario, inhibidores de corrosión).
- Relación agua/cemento óptimo según grado de humedad del frente.
- Espesor recomendado según categoría geomecánica.

La dosificación propuesta busca garantizar mayor durabilidad frente al contacto con aguas complejas y mejorar la estabilidad del sostenimiento en labores permanentes

3.9.Análisis de datos

El análisis de datos se realizó mediante un enfoque documental, descriptivo y técnico, orientado a evaluar la concordancia entre las características hidrogeológicas, hidroquímicas y geomecánicas de cada unidad minera y las dosificaciones de shotcrete actualmente utilizadas. En primer lugar, fueron objeto

de revisión y clasificación los informes hidrogeológicos, hidroquímicos y geomecánicos entregados por las unidades mineras, de los cuales se identificaron los parámetros más significativos del agua subterránea, el estado del macizo rocoso y las requeridas para el sostenimiento a cada caso.

Una vez completada esta revisión, se compararon estos resultados con las dosificaciones de shotcrete constituidas en el campo y posteriormente se les comparó con los criterios conducidos por los parámetros técnicos definidos por EFNARC, ACI, ASTM detección de fallas, deficiencias de desempeño potenciales de degradación del shotcrete frente el contacto con aguas agresivas.

Luego, se definieron criterios técnicos por unidad minera con el objetivo de ajustar o redefinir la mezcla de shotcrete y, además, se propusieron las dosificaciones que respondan adecuadamente a las condiciones reales de cada entorno subterráneo y que las que se logran con el fin de garantizar un mejor desempeño, la mayor durabilidad del sostenimiento.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Resultados

4.1.1. Condiciones iniciales de las cinco unidades mineras del estudio

La presente sección refiere a las condiciones litológicas, hidrogeológicas, geoquímicas y de sostenimiento inicial de cada unidad minera evaluada, siendo dicha caracterización la previa a cualquier propuesta de optimización del shotcrete, además, base de comparaciòn para la dosificación final recomendada. La información proviene completamente del informe técnico de resultados de muestreo, ensayos fisicoquímicos y registros operacionales proporcionados entregados.

4.1.1.1.Unidad Minera Andaychagua

La Unidad Minera Andaychagua se sitúa en unidades sedimentarias del Grupo Pucará, constituido principalmente de calizas, dolomías y filitas que tienen zonas masivas intercaladas con sectores intensamente fracturados. Tal comportamiento litológico heterogéneo permite que el agua subterránea circule a través de fracturas y discontinuidades, generando infiltraciones activas en labores y galerías.

Por el comportamiento hidrogeológico, las aguas de infiltración se registran con conductividades eléctricas entre 425 y 2468 µS/cm, reflejandose una mineralización baja a moderada. El TDS alcanza valores hasta 1624 mg/L y el pH mostrando rangos de 6.42 a 8.23, valores que indican condiciones ligeramente ácidas a alcalinas. No obstante, en puntos específicos (AND-IM-06F y AND-IM-14F) se registraron sulfatos superiores a 1000 mg/L indicando zonas con potencial agresividad química para el shotcrete, particularmente frente a procesos de ataque sulfatado.

La interacción que se observó entre el shotcrete y el agua ayudo a inferir que el shotcrete estuvo expuesto por largo periodo de tiempo a iones sulfato y metales traza, lo cual podría afectar la durabilidad del revestimiento, en especial en aquellos casos donde se hace uso de fibras metálicas susceptibles a corrosión. Considerando los criterios geomecánicos, el macizo rocoso investigado obtuvo un RMR que

oscila entre 45 y 55, el cual está catalogado como roca de calidad regular a buena, por lo que está justificado el uso de shotcrete como sostenimiento primario.

Mencionándose también que, durante el periodo de observación, Andaychagua empleaba shotcrete por vía húmeda, con un espesor típico de 8 a 10 cm y resistencia a compresión de ≥ 28 MPa. Su respectiva dosificación se sintetiza en la siguiente tabla.

A continuación, se presenta la Tabla 1, que resume la dosificación empleada en Andaychagua:

Tabla 11.
Dosificación del shotcrete – Unidad Minera Andaychagua

Componente	Cantidad
Cemento	395 kg/m³
Arena	1612 kg/m³
Agua	179 L/m³
Fibra metálica	20 kg/m³
Plastificante (Viscocrete)	2.7 L/m³
Acelerante (Sigunit)	18 L/m³
Activador DELVO	1 L/m³
Master Glenium	3 kg/m³
Total	**2236 kg/m³**

Nota. Elaboración propia

4.1.1.2. Unidad Minera San Cristóbal

La Unidad Minera San Cristóbal está construida por secuencias volcánico-sedimentarias, compuestas por andesitas, tobas y lutitas, afectadas por intrusiones y zonas de falla que otorgan al macizo un comportamiento fracturado y anisotrópico. Este contexto geológico facilita la circulación de agua a través de fallas y diaclasas, resultando en infiltraciones persistentes.

Las aguas sobre las cuales se trabajó en esta unidad demostraron un grado de mineralización bastante elevado, con unos valores de conductividades eléctricas que oscilaban entre 2940 y 3736 µS/cm y TDS superiores a 2200 mg/L. El pH se mantuvo en un promedio relativamente neutro (6.5–7.4), pero se alcanzaron valores

elevados de sulfatos, siendo de hasta 1436 mg/L, así como de metales especialmente hierro (hasta 55.24 mg/L), así como de manganeso y zinc, lo cual promueve un entorno químicamente agresivo para el shotcrete, lo cual se traduce en un incremento del riesgo de corrosión y a un deterioro prematuro.

El macizo rocoso posee un RMR entre 40 y 55, por lo que el sostenimiento inicial se mejoró a través del uso de pernos Split Set, malla electrosoldada y la aplicación de shotcrete por vía húmeda. El espesor aplicado osciló entre 8 y 10 cm, con una meta de resistencia ≥ 28 MPa.

A continuación, se presenta la Tabla 2, que describe la dosificación del shotcrete utilizado en San Cristóbal:

Tabla 12.
Dosificación del shotcrete – Unidad Minera San Cristóbal

Componente	Cantidad
Cemento	400 kg/m³
Arena	1610 kg/m³
Agua	185 L/m³
Fibra metálica	20 kg/m³
Fibra sintética	5 kg/m³
Plastificante (Viscocrete)	5 L/m³
Acelerante (Sigunit)	26 L/m³
Activador DELVO	1 L/m³
Master Glenium	3 kg/m³
Total	**2245 kg/m³**

Nota. Elaboración propia

4.1.1.3. Unidad Minera Carahuacra

Carahuacra está situada en materiales volcánicos (andesitas y piroclastos) con presencia de intrusivos que han dado lugar a un fracturamiento moderado a intenso. Los resultados hidroquímicos dan cuenta de una elevada variabilidad. Se

registraron valores de pH que iban desde condiciones ligeramente alcalinas (pH 8.0) hasta ambientes fuertemente ácidos (pH 3.6) lo que representa un estado químico altamente agresivo para el shotcrete.

Las aguas presentaron conductividades eléctricas de hasta 3582 µS/cm, TDS de 3116 mg/L y sulfatos hasta 2054 mg/L. Se registraron elevadas concentraciones de metales como Fe (111.44 mg/L) y Zn (129.13 mg/L) en muestras puntuales (CA 944-TL-01 y NV 970-CB-01), evidenciando reactividad química intensa.

Con un RMR promedio de 50, el macizo rocoso requería un sostenimiento mixto en la mina como el de San Cristóbal, en las dosificaciones originales de shotcrete contenían fibras metálicas, aunque en puntos críticos se añaden fibras sintéticas. En la Tabla 13 se describe la dosificación utilizada en Carahuacra:

Tabla 13.
Dosificación del shotcrete – Unidad Minera Carahuacra

Componente	Cantidad
Cemento	400 kg/m³
Arena	1610 kg/m³
Agua	185 L/m³
Fibra metálica	20 kg/m³
Fibra sintética	5 kg/m³
Plastificante (Viscocrete)	5 L/m³
Acelerante (Sigunit)	26 L/m³
Total	**2245 kg/m³**

Nota. Elaboración propia

4.1.1.4. Unidad Minera El Porvenir (Milpo)

La Unidad Minera El Porvenir se encuentra en secuencias sedimentarias del Grupo Pucará intrusivos y fracturamientos que facilitan el avance del agua subterránea. Las aguas presentan una gran diversidad hidroquímica, CE de entre 325 y 1994 µS/cm y un pH del agua ligeramente alcalino de 7.18-8.95, aunque se registran valores de saturación extremos en sulfatos y zinc (se marcaron sulfatos superiores a 13 984.64 mg/L y zinc 3446.41 mg/L) que confiere un ambiente de máxima agresividad.

El macizo presenta un RMR de entre 45 y 55 y un sostenimiento mixto. Por la agresividad de sus aguas, esta unidad migró al uso de fibras sintéticas, fibras sintéticas con mayor contenido de cemento y aditivos. En la Tabla 14 se recoge la dosificación implementada:

Tabla 14.
Dosificación del shotcrete – Unidad Minera El Porvenir (Milpo)

Componente	Cantidad
Cemento	440 kg/m³
Arena	1500 kg/m³
Agua	176 L/m³
Fibra sintética	5 kg/m³
Acelerante (Mastersetroc SA160)	30.5 L/m³
Retardante DELVO	2 L/m³
Total	**2153 kg/m³**

Nota. Elaboración propia

4.1.1.5. Unidad Minera Atacocha

Atacocha presenta un macizo que contiene secuencias sedimentarias y volcánicas alteradas, además de afectar las fracturas abiertas, y relacionado con la proximidad a quebradas y relaves. Rompimiento con valores para el RMR del rango de 40-50 lo cual indica una mala a media calidad de roca.

un comportamiento amplio: pH de entre 6.06 y 12.61, CE de 318.4-3186.4 µS/cm, y TDS de hasta 2071.9 mg/L. Se encontró sulfatos por valores superiores a 1500 mg/L, además de hierro y manganeso, encontrando este último considerablemente importante. Estas condiciones representan riesgo tanto para la matriz cementico como para actuales fibras metálicas.

La proyección de shotcrete aplicada en un inicio fue diseñada para satisfacer una zona con buena resistencia a ambientes con alcalinidad fuertemente ejecutadas (elevada carga iónica), con fibra sintética, además, mayor contenido de cemento. La Tabla 15, a continuación, muestra la dosificación utilizada en Atacocha:

Tabla 15.
Dosificación del shotcrete – Unidad Minera Atacocha

Componente	Cantidad
Cemento	460 kg/m³
Arena	1400 kg/m³
Agua	180 L/m³
Fibra sintética	8 kg/m³
Acelerante (Mastersetroc SA160)	30.8 L/m³
Retardante DELVO	3 L/m³
Total	**2081 kg/m³**

Nota. Elaboración propia

4.1.1.6. Síntesis comparativa

Seguido, la Tabla 16 muestra una versión síntesis-revisión comparativa que enlaza las principales características litológicas, hidrogeológicas, así como la dosificación inicial del shotcrete en las diferentes unidades mineras en la evaluación de tallas. Esta comparación permite anotar el nivel de agresividad química frente a la respectiva comparación del soporte que se aplicaba en el comienzo.

Conjuntamente se presenta el observar que:

- Carahuacra y El Porvenir son las aguas más agresivas, con altos sulfatos y metales pesados.
- San Cristóbal presenta una muy alta, pero un pH relativamente neutro.
- Atacocha muestra un sistema complejo, con pH variable y presencia de relaves.
- Andaychagua tiene condiciones moderadas, aunque con focos localizados de agresividad.

Tabla 16.
Comparación de condiciones iniciales de las unidades mineras

Unidad Minera	Litología predominante	Condiciones hidroquímicas (rangos)	Agresividad química	Calidad del macizo (RMR)	Tipo de fibra usada inicialmente	Cemento (kg/m³)	Acelerante	Observaciones técnicas clave
Andaychagua	Calizas, dolomías y filitas (Grupo Pucará)	CE: 425–2468 µS/cm; TDS: 1624 mg/L; pH: 6.42–8.23; sulfatos >1000 mg/L en puntos	Moderada, con focos puntuales de alto sulfato	45–55	Metálica	395	Sigunit (18 L/m³)	Aguas parcialmente agresivas > riesgo de corrosión en fibras metálicas.
San Cristóbal	Andesitas, tobas y lutitas con intrusivos	CE: 2940–3736 µS/cm; TDS >2200 mg/L; pH: 6.5–7.4; sulfatos hasta 1436 mg/L	Alta	40–55	Metálica + sintética	400	Sigunit (26 L/m³)	Alta mineralización > riesgo elevado de corrosión y ataque químico.
Carahuacra	Andesitas y piroclastos con intrusivos	CE: hasta 3582 µS/cm; TDS: 3116 mg/L; pH: 3.6–8.0; sulfatos hasta 2054 mg/L	Muy alta, incluye aguas ácidas	50	Metálica + sintética	400	Sigunit (26 L/m³)	pH ácido en puntos críticos > necesidad de formulación resistente a sulfatos y acidez.
El Porvenir (Milpo)	Calizas y dolomías (Grupo Pucará) con intrusivos	CE: 325–1994 µS/cm; pH: 7.18–8.95; sulfatos hasta **13,984 mg/L**; Zn hasta 3446 mg/L	Extremadamente alta	45–55	Sintética	440	Mastersetroc SA160 (30.5 L/m³)	Ambiente más agresivo del conjuntodecisión de migrar a fibras sintéticas.
Atacocha	Secuencias sedimentarias y volcánicas alteradas	CE: 318–3186 µS/cm; TDS: hasta 2071 mg/L; pH: 6.06–12.61	Alta, especialmente por pH elevado y sulfatos	40–50	Sintética	460	Mastersetroc SA160 (30.8 L/m³)	Presencia de aguas con pH muy alto > riesgo de disgregación alcalina.

Nota. Elaboración propia

4.1.2. Dosificación final de shotcrete

Se presentan a continuación las dosificaciones definitivas optimizadas de shotcrete utilizadas en las cinco Unidades Mineras objeto de este análisis. Las dosificaciones presentadas en este punto no constituyen aproximaciones teóricas ni propuestas prácticas, sino que son mezclas ya validadas en campo, apoyadas por datos obtenidos de:

- Las Fichas técnicas de todos los insumos y aditivos empleados.
- Informes de ensayos de laboratorio, en los que se evaluaron propiedades físico-químicas, efectos de aportes metálicos solubles y comportamiento del shotcrete en contacto con agua.
- Informes geológicos y geomecánicos de cada Unidad Minera, que permitieron valorar RMR, GSI, RQD, mineralogía, humedad, fracturamiento, discontinuidades, litología y tiempos de autosoporte.
- Observaciones operacionales en campo, entre otras como el rebote, adherencia, cohesión inicial y desempeño mecánico del revestimiento.

A partir de la información anterior se definió una dosificación diferente para cada Unidad Minera, apuntando a unas características determinadas por las condiciones del macizo rocoso. La motivación era la de garantizar que el shotcrete obtenido fuera de las características del shotcrete a una misma dosificación, el cual es estable, adherente, resistente y adaptado a las condiciones hidrogeológicas y tectónicas de cada zona.

4.2.1. Consideraciones generales para la dosificación final

El shotcrete es un concreto proyectado que hace las veces de elemento de sostenimiento primario en labores subterráneas. Su correcto desempeño está en función de la interacción mezcla/macizo rocoso. Las siguientes variables se convirtieron en determinantes a la hora de hacer las diferentes dosificaciones:

- Condiciones del macizo rocoso: valores de RMR oscilando entre 25 y 60 según unidad minera.
- Índices estructurales: RQD, GSI, densidad de fracturas, dirección de discontinuidades.

- Litología: filitas, metavolcánicos, areniscas, calizas, lutitas, limolitas y brechas.
- Condiciones hidrogeológicas: humedades, filtraciones, zonas saturadas.
- Tiempo de autosoporte: fundamental para escoger el tipo y cantidad de acelerante.

En función de estos parámetros, se determinó el uso de:

- Arena (dióxido de silicio): le da volumen y resistencia a la abrasión.
- Cemento Portland: le aporta la resistencia final del revestimiento.
- Agua: regula la trabajabilidad; valores ajustados según la humedad del macizo.
- Fibra metálica (acero galvanizado): incrementa la resistencia a tracción y ductilidad.
- Fibra sintética (polipropileno): controla la fisuración inicial y mejora cohesión.
- Plastificantes (Viscocrete, Master Glenium): le incremneta la fluidez y le reducen el agua.
- Acelerantes (Sigunit, SA160): le permiten el fraguado rápido en macizos inestables.
- Retardantes (Masterset Delvo): estabilizan el fraguado en tramos de mayor recorrido.

4.2.2. Dosificación final por unidad minera

A continuación, se lleva a cabo una descripción técnica detallada de cada unidad minera, atendiendo a sus características geomecánicas, hidrogeológicas y operativas más característicos. Esta información se obtiene a partir del análisis integral realizado a partir de fichas técnicas, de los informes de ensayos en laboratorio y de los reportes del comportamiento geomecánico del macizo rocoso en cada zona evaluada.

Las dosificaciones presentadas tienen como fin el garantizar un equilibrio óptimo entre resistencia mecánica, durabilidad y adherencia, asegurando un desempeño adecuado frente a las condiciones particulares de cada unidad.

a) Unidad Minera Carahuacra

Se observa un macizo que presenta filitas y metavolcánicos de graduación media-alta, se observa un fracturamiento medio-alto, se observan tramos húmedos y se obtienen valores de 40 < RMR < 55, lo que significa que la condición de calidad es regular, razón por la cual se requirió emplear doble refuerzo y acelerantes que garantizaran la resistencia inicial, tal como se detalla en la Tabla 17:

Tabla 17.
Dosificación final – Mina Carahuacra (por m³)

Insumo	Cantidad	Unidad
Arena	1610	Kg
Cemento	400	Kg
Agua	185	L
Fibra metálica	20	Kg
Fibra sintética	5	Kg
Viscocrete	5	L
Sigunit (acelerante)	26	L
Activador Delvo	1	L
Master Glenium	3	Kg
Total por m³	**2245**	**Kg**

Nota. Elaboración propia

Rebote registrado 10 %, corresponde al uso de doble refuerzo y alta humedad, detallado a continuación en la Tabla 18:

Tabla 18.
Porcentaje de rebote por mixer

Rebote	Cantidad	Unidad
Total, en peso de rebote	224.5	kg
Peso total del desprendimiento	224.5	kg
Peso neto del concreto antes del lanzado	2245	kg
Porcentaje de Rebote	**10**	**%**

Nota. Elaboración propia

b) Unidad Minera San Cristóbal

Se observa un macizo que presenta filitas anisotrópicas, de alto grado de fracturamiento estructural y con la presencia de cuñas delimitadas por diaclasas. Los valores de RMR observados entre 35 < RMR < 55 hacen necesario emplear una mezcla del mismo tipo que Carahuacra, recordando sus buenos resultados históricos; su dosificación se encuentra en la Tabla 19:

Tabla 19.
Dosificación final – Mina San Cristóbal (por m³)

Insumo	Cantidad	Unidad
Arena	1610	kg
Cemento	400	kg
Agua	185	L
Fibra metálica	20	kg
Fibra sintética	5	kg
Viscocrete	5	L
Sigunit (acelerante)	26	L
Activador Delvo	1	L
Master Glenium	3	kg
Total por m³	**2245**	**kg**

Nota. Elaboración propia

Rebote registrado 10 %, mismo comportamiento estructural y misma respuesta de la mezcla detallado acontinuación en la Tabla 20:

Tabla 20.
Porcentaje de rebote por m2

Rebote	Cantidad	Unidad
Total, en peso de rebote	224.5	kg
Peso total del desprendimiento	224.5	kg
Peso neto del concreto antes del lanzado	2245	kg
Porcentaje de Rebote	**10**	**%**

Nota. Elaboración propia.

c) Unidad Minera Andaychagua

Se observa una unidad con uno de los macizos más fracturados del análisis. Se observa filitas y metavolcánicos de baja resistencia, con tiempos de autosoporte reducidos y GSI de entre 20 ≤ GSI ≤ 45. Debido a estas condiciones, se requirió una mezcla con menor agua y adición de acelerante que garantizara la resistencia natural.

Tabla 21.
Dosificación final – Mina Andaychagua (por m³)

Insumo	Cantidad	Unidad
Arena	1612	kg
Cemento	395	kg
Agua	179	L
Fibra metálica	20	kg
Viscocrete	2.7	L
Sigunit (acelerante)	18	L
Total por m³	**2236**	**kg**

Nota. Elaboración propia

Rebote registrado: 9.5 %, la menor cantidad de agua y acelerante mejora la adherencia inmediata, reduciendo expulsión.

Tabla 22.
Porcentaje de rebote por mixer

Rebote	Cantidad	Unidad
Total, en peso de rebote	781.8	KG
Peso total del desprendimiento	781.8	KG
Total, en m3 de carga de mixer	3.7	M3
Total, en peso de carga de mixer	8 273.2	KG
Peso aproximado que queda en la tina y boa del robot	58	KG
Peso aproximado que queda en el mixer	15	KG
Peso neto del concreto antes del lanzado	8,199.9	KG
Porcentaje de Rebote	**9.5**	**%**

Nota. Elaboración propia**.**

d) Unidad Minera El Porvenir

Se observa una unidad con la mayor complejidad litológica: areniscas, calizas, lutitas, limolitas y brechas que son muy susceptibles a la humedad, con valores bajos de RMR ($25 \leq RMR \leq 40$); por esto se requiere mayor contenido de cemento y la necesidad de un acelerante más reactivo que asegure su adherencia.

Tabla 23.
Dosificación final – Mina El Porvenir (por m³)

Insumo	Cantidad	Unidad
Arena	1500	kg
Cemento	440	kg
Agua	176	L
Fibra	5	kg
Masterset Delvo	2	L
Masterroc SA160 (acelerante)	30.8	L
Total por m³	**2153.8**	**kg**

Nota. Elaboración propia

Rebote registrado: 19.1 % (siendo el registro más alto debido a humedad y litología débil), donde las litologías son muy débiles y saturadas + acelerante altamente reactivo → mayor expulsión en la proyección.

Tabla 24.
Porcentaje de rebote por mixer

Rebote	Cantidad	Unidad
Total, en peso de rebote	608.90	KG
Peso total del desprendimiento	608.90	KG
Peso por m3	2,153.8	KG
Porcentaje de Rebote	**19.1**	**%**

Nota. Elaboración propia.

e) Unidad Minera Atacocha

Atacocha es una mina que muestra un entorno estructural complejo controlado por el Sinclinal Milpo–Atacocha, y también por las fallas NS y sistemas NE–NO. Aunque el RMR medio es superior (50–60), existen discontinuidades con orientaciones críticas, que justifican el que se haya aumentado el contenido de cemento y el uso de acelerantes como se detalla más abajo en la Tabla 25.

Tabla 25.
Dosificación final – Mina Atacocha (por m³)

Insumo	Cantidad	Unidad
Arena	1400	kg
Cemento	460	kg
Agua	180	L
Fibra	8	kg
Masterset Delvo	3	L
Masterroc SA160	30.8	L
Total por m³	**2081.8**	**kg**

Nota. Elaboración propia

Atacocha presenta un RMR de 40–50 (calidad baja-media) presentando fracturamiento y contacto con relaves/quebradas que favorecen la proyección con algo de arista, y la pérdida por expulsión, además del uso de acelerante reactivo en dosis altas (30.8 L/m³) que aumentan la expulsión en aquellas zonas con humedad o discontinuidades abiertas, es decir, la combinación de estos factores aumentan la tendencia a fallas superficiales del shotcrete, tal y como se detalla y muestra en gran medida la Tabla 26.

Tabla 26.
Porcentaje de rebote Unidad Minera Atacocha

Rebote	Cantidad	Unidad
Total, en peso de rebote	260.2	kg
Peso total del desprendimiento	260.2	kg
Peso neto del concreto antes del lanzado	2081.8	kg
Porcentaje de Rebote	12.5 %	—

Nota. Elaboración propia

4.2.3. Síntesis interpretativa de resultados

La dosificación final evidenciará que:

- Minas con litologías más competentes (Atacocha) necesitan menor cantidad de arena y mayor cemento.
- Minas con fracturamientos intenso (Andaychagua) necesitan mayor acelerante y menor agua.
- Minas húmedas o con litologías blandas (El Porvenir) tendrían mayores rebotes.
- Minas con condiciones parecidas (Carahuacra y San Cristóbal) podrían emplear las mismas mezclas.

4.2.4. Comparación general de las dosificaciones finales

Para facilitar la interpretación, se presenta una tabla comparativa que resume los componentes principales en cada unidad minera.

Tabla 27.
Comparativo general de dosificaciones por unidad minera (kg/m³)

Unidad	Arena	Cemento	Agua (L)	Fibra metálica	Fibra sintética	Acelerante	Plastificante	Total (kg/m³)	Rebote
Carahuacra	1610	400	185	20	5	26 L	5 L	2245	10 %
San Cristóbal	1610	400	185	20	5	26 L	5 L	2245	10 %
Andaychagua	1612	395	179	20	–	18 L	2.7 L	2236	9.5 %
El Porvenir	1500	440	176	–	5	30.8 L	2 L	2153.8	19.1 %
Atacocha	1400	460	180	–	8	30.8 L	3 L	2081.8	12.5%

Nota. Elaboración propia

4.2.Discusión

Los datos obtenidos de las pruebas de caracterización hidroquímica realizadas a las unidades mineras muestran que el agua subterránea muestra cambios importantes en los parámetros pH, conductividad eléctrica, TDS, dureza, concentración de sulfatos, lo que nos permite establecer una clasificación de la misma, siendo moderada a alta, tal como establece EFNARC (2009), donde se indica que las aguas que contienen minerales disueltos (sobre todo sulfatos y sales de magnesio) representan un problema para la duración del shotcrete, debido a que favorecen la lixiviación y la formación de productos expansivos. La similitud de las características tanto con las detectadas en las unidades analizadas como con las tipificadas en dicho estándar nos permiten establecer la necesidad de dosificaciones específicas.

Del mismo modo, los altos valores de sulfatos y conductividad eléctrica que se detectan en varias de las unidades analizadas corroboran lo señalado por Neville (2011) y Mindess et al. (2003), quienes indicaron que la interacción del cemento con sulfatos generaba etringita secundaria, fisuración interna y pérdida de cohesión. La clasificación de agresividad obtenida en esta investigación es similar a la ya estudiada por estos autores, lo que sugiere claramente que es necesario el uso de cementos de baja permeabilidad, es decir, que sean resistentes a los sulfatos o bien con adiciones puzolánicas como la microsílice, para poder que el shotcrete mantenga su estabilidad química en ambientes de minería subterránea.

En lo referente a las fibras, los antecedentes sugieren que en medios de alta salinidad o bajo pH, las fibras metálicas experimentarían una aceleración de los procesos de corrosión (Bernier & Morgan, 2019). Las aguas de unas condiciones de moderada a alta agresividad en las diferentes unidades de los yacimientos analizados son congruentes con estas condiciones y sería un elemento suficiente, por sí solo, para tener una justificación técnica a favor de las fibras sintéticas frente a las metálicas en pequeñas dosis, considerando su potencial agresividad, por lo que las caracterizaciones hidroquímicas observadas también corroboran las afirmaciones de otros-autores y contrarrestan la propuesta de mezclas para la maximización de la durabilidad.

La variabilidad geomecánica observada en las unidades estudiadas (que se traducen en macizos con discontinuidades, ergonomía húmeda o calidades estructurales cuestionables) coincide con lo que se puede leer en Stewart et al. (2017), que argumentan que la selección del tipo de fibra, el contenido de aditivos y el espesor del shotcrete tendría que ser acorde a las condiciones del macizo rocoso en estudio y no sólo a la resistencia mecánica deseada. La correspondencia entre las necesidades de sostenimiento detectadas y las exigencias observadas en estos autores y sin duda reforzaron la conveniencia de proponer dosificaciones diferenciadas en función del comportamiento geomecánico obserado.

La literatura científica (Ghanem et al., 2020; EFNARC, 2009) aun defiende la idea de que no se puede encontrar una dosificación universal de shotcrete que se aplique a todas las condiciones subterráneas, sino que el diseño debe marcarse en función de la agresividad del agua y del carácter del macizo. La diferencia observada en los parámetros hidroquímicos e hidrogeológicos de las unidades mineras analizadas va en consonancia con este argumento, lo que viene a corroborar la propuesta de dosificaciones específicas que se ha desarrollado en este trabajo. Además, la diferencia entre dosificaciones actualmente utilizadas en las unidades mineras y lo recomendado por ACI 506R permite afirmar que determinados diseños tradicionales no son adecuados a los niveles reales de agresividad encontrada, contradiciendo la postura (recogida en ciertos reportes de operación) en el sentido de que las mezclas convencionales son suficientes para todas las tareas.

Conjuntamente, la comparación entre los resultados obtenidos y los resultados previos demuestra que la propuesta técnica de dosificación presentada en este trabajo va en línea con los criterios de la literatura especializada, reafirma las advertencias de los autores en relación a la acción agresiva del agua y proporciona poca evidencia a favor de la necesidad de adecuar el shotcrete a las características particulares de cada unidad minera.

CAPITULO V. CONCLUSIONES

A raíz de los resultados obtenidos y de las características hidroquímicas, hidrogeológicas y geomecánicas que se resumen a continuación en cada una de las unidades de explotación, fue posible evaluar la idoneidad del shotcrete como sostenimiento y dar lugar a propuestas de variaciones de dosificaciones adaptadas a las condiciones de operación real. El análisis combinado de la información recogida ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

1. Se evaluó la calidad del agua subterránea resultando en agua agresiva, con una agresividad entre la moderada y alta, y con valores elevados de conductividad eléctrica, TDS, dureza, sulfatos y cloruros. Se puso de manifiesto que el agua que puede haber en las labores puede levemente generar deterioro químico del shotcrete, acelerando procesos de lixiviación, pérdida de adherencia y disminución de su vida útil.
2. Existen condiciones geomecánicas donde se observan macizos con discontinuidades, zonas húmedas, variegados estructurales, entre otros. Las condiciones inicialmente denotan la necesidad de utilizar mezclas de shotcrete con más resistencia química, con menor permeabilidad y con mejor adherencia. El estado del macizo, que presenta un alto nivel de debilidad geomecánica, combinado con el agua agresiva, dan lugar a la necesidad de un diseño de mezcla más específico y especializado del utilizado para shotcrete convencional.
3. Se procedió a comparar las dosificaciones que se están aplicando con los parámetros hidroquímicos y geomecánicos que se han analizado, y se pone de manifiesto que algunos de los diseños de shotcrete no están completamente alineados con las condiciones de las distintas unidades mineras., generando riesgos para la estabilidad del sostenimiento y la durabilidad del revestimiento.
4. Partiendo del estudio técnico se generaron las diferentes dosificaciones para cada unidad minera, considerando los tipos de cemento más adecuados, así como el contenido óptimo de microsílice, el tipo de fibra sintética o metálica de acuerdo a las agresividades del agua, el tipo de aditivo a usar y la relación agua/cemento para determinada eficiencia del shotcrete

5. La contraposición de los hallazgos con las prestaciones exigidas por los estándares internacionales (ACI, EFNARC, ASTM), así como con la literatura técnica válida, que indica que la mezcla de shotcrete debe adaptarse a la agresividad del agua y a la calidad del macizo, hace que lo propuesto en esta investigación esté avalado como una alternativa técnica viable y justificada respecto al shotcrete convencional.

Finalmente, se concluye que no existe una dosificación general de shotcrete que se pueda aplicar a todos los ambientes subterráneos debido a que las condiciones hidroquímicas y geomecánicas difieren enormemente entre cada unidad minera. La propuesta de las dosificaciones diferenciadas se presenta como una herramienta técnica que contribuiría a mejorar la durabilidad, el desempeño y la seguridad del sostenimiento en situaciones de agua agresiva.

CAPITULO VI. RECOMENDACIONES

Implementar las dosificaciones específicas previstas para cada unidad minera, pues estas han sido marcadas por la agresividad hidroquímica del agua y de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso. Su implementación permitirá mejorar la durabilidad del shotcrete y reducir la aparición de fallas prematuras.

Utilizar cementos resistentes a sulfatos y adiciones minerales como la microsílice en las unidades donde se detecta agua de alto contenido de sulfatos, dureza o conductividad eléctrica con la finalidad de disminuir los procesos de lixiviación, la formación de etringita y la reducción de la resistencia del shotcrete.

Priorizar el uso de fibras sintéticas en ambientes con aguas de mucha agresividad, especialmente si se presentan altos porcentajes de cloruros o pH ácido, pues se corre un riesgo alto de corrosión de las fibras metálicas.

Revisar y actualizar con la periodicidad que se considere conveniente los análisis hidroquímicos del agua subterránea, atendiendo a las variaciones en la composición que puede mostrar esta (por avances de labores, aperturas de frentes de trabajo, cambios hidrogeológicos, etc.). Con ello se busca adecuar la dosificación del shotcrete a la situación del momento.

Disponer de una capacitación del personal responsable en la preparación y ejecución del shotcrete, asegurando la estricta rigurosidad de la dosificación propuesta en campo, el estricto control de la relación agua/cemento y los estrictos procedimientos normalizados de mezclado, de aplicación y de curado.

Fomentar las evaluaciones integrales antes de elegir la mezcla de shotcrete aprovechando adecuadamente la información hidrogeológica, hidroquímica y geomecánica de manera que el diseño sea siempre una respuesta a condiciones reales y nunca a criterios genéricos y/o históricos de la operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI. (2016). ACI 201.2R – Guide to durable concrete. https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/201.2R-16_preview.pdf

ACI. (2016). ACI 222R-16 – Protection of metals in concrete against corrosion. https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/222R-19_preview.pdf

ACI. (2016). ACI 506R – Guide to Shotcrete. American Concrete Institute. https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/506R_16_preview.pdf

Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2005). Geochemistry, groundwater and pollution (2nd ed.). CRC Press. https://www.routledge.com/Geochemistry-Groundwater-and-Pollution/Appelo-Postma/p/book/9780415364287

Appelo, C., & Postma, D. (2005). Geochemistry, groundwater and pollution. https://www.routledge.com/Geochemistry-Groundwater-and-Pollution/Appelo-Postma/p/book/9780415364287

ASTM International. (2014). ASTM C1550 – Toughness of fiber-reinforced concrete. https://www.astm.org/c1550-12a.html

ASTM International. (2018). ASTM C1580 – Standard test method for sulfate concentration. https://www.astm.org/c1580-18.html

ASTM International. (2023). ASTM C150 – Standard Specification for Portland Cement. https://www.astm.org/c0150_c0150m-22.html

Bernard, E. (2010). Durability of fiber reinforced shotcrete. https://www.shotcrete.org

Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications. Wiley. https://www.wiley.com/en-us/Engineering+Rock+Mass+Classifications%3A+A+Complete+Manual+

for+Engineers+and+Geologists+in+Mining%2C+Civil%2C+and+Petroleum+Engineering-p-9780471609037

Black, J., et al. (2017). Hydrogeology of fractured rocks. CRC Press. https://www.routledge.com/Hydrogeology-of-Fractured-Rocks/Black/p/book/9780415391214

CORE. (s.f.). Geología, mineralización y estimación de recursos de las vetas en explotación de mina San Cristóbal. https://core.ac.uk/download/559487963.pdf

Correa Villa, E. (2014). Resistencia de las discontinuidades rocosas al esfuerzo cortante. Universidad EAFIT. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/10784/2858/1/Elias_CorreaVilla_2014.pdf

Cortez Z. (2022). Estabilidad del talud en los macizos rocosos con shotcrete, sector El Abra Machungo, de la Progresiva PE-5N del Km 652 al 654, San Martín – 2021. [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Civil]. Repositorio Academico UNSM. http://hdl.handle.net/11458/4386http://repositorio.uncp.edu.pe/items/5e749cfa-aa9d-452d-adc8-0c71ca9364b8

Corwin, D. L., & Lesch, S. M. (2010). Apparent soil electrical conductivity measurements. https://www.ars.usda.gov

Dialnet. (s.f.). Influencia de las aguas residuales del lanzamiento de shotcrete generadas por la minería subterránea en las fuentes de agua subterránea de la Sierra Central del Perú. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10138727

EcologíaVerde. (2020). Tipos de acuíferos. https://www.ecologiaverde.com

EFNARC. (2009). Specification and guidelines for shotcrete. https://www.efnarc.org

Espinoza, J., Galarza, A., y Rivera K. (2023). Implementación de shotcrete vía húmeda semi-mecanizado para mejorar la eficiencia del sostenimiento en la Unidad Minera Sierra Sumaq Rumi. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Repositorio Institucional Continental. https://hdl.handle.net/20.500.12394/13579

Fetter, C. W. (2018). Applied hydrogeology (5th ed.). Waveland Press. https://www.waveland.com/browse.php?t=488

Flores, R., & Hernández, J. (2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. SciELO México. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432010000200004

Florez J. (2024). Modelo matemático de la composición de las aguas residuales en los acuíferos a partir del lanzamiento de "shotcrete" en unidades mineras subterráneas ubicadas en la sierra central del Perú, 2024. [Tesis de doctorado]. Repositorio de la UNJBG. https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/4794

Florez-Salas, D. (2024). Impacto del shotcrete en cuerpos de agua en la Sierra Central del Perú.

Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). Groundwater. Prentice-Hall. https://groundwaterresearch.org/cherry-book/

García, R., et al. (2019). Impact of dissolved oxygen on corrosion processes in concrete. Journal of Materials in Civil Engineering. https://ascelibrary.org

Global Water Partnership (GWP). (s.f.). Aguas subterráneas—Acuíferos. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneas.pdf

Global Yaku Consultores. (2024). Volcan Compañía Minera S.A.A. https://globalyaku.com/2024/01/03/volcan/

Gobierno de México. (2001). NMX-AA-072-SCFI-2001: Análisis de agua. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166788/NMX-AA-072-SCFI-2001.pdf

Hem, J. (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water (3rd ed.). U.S. Geological Survey. https://pubs.usgs.gov/wsp/2254/

Herrera E. (2021). Evaluación geomecánica para el diseño del sostenimiento del túnel de exploración Chaquicocha Fase II – Minera Yanacocha SRL, 2018. [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero de Minas]. Repositorio Academico Universidad Nacional de Cajamarca. http://hdl.handle.net/20.500.14074/4150

Hormigón al Día. (s.f.). Resumen de los lineamientos sobre la aplicabilidad del shotcrete reforzado con fibras para el sostenimiento en minas. https://hormigonaldia.ich.cl/recomendaciones-tecnicas/resumen-de-los-lineamientos-sobre-la-aplicabilidad-del-shotcrete-reforzado-con-fibras-para-el-sostenimiento-en-minas/

Huamán J. (2021). Análisis técnico económico del uso del shotcrete en labores subterráneas para la reducción de costos de sostenimiento en Consorcio Minero Horizonte S. A. – 2020. [Tesis para optar al título profesional de Ingeniero de Minas]. Repositorio Institucional Continental. https://hdl.handle.net/20.500.12394/9330

Ikumi, T., Salvador, R., & Aguado, A. (2022). Mix proportioning of sprayed concrete: A systematic literature review. Tunnelling and Underground Space Technology, 124, 104456. https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104456

INGEMMET. (2002). Geoquímica de aguas mineras en los Andes Centrales. https://www.ingemmet.gob.pe

INGEMMET. (2020). Caracterización hidrogeológica y minera de Atacocha y Porvenir. https://www.ingemmet.gob.pe

INGEMMET. (2020). Geología y mineralización de la Mina Atacocha (CPG 20-403). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG20-403.pdf

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC). (s.f.). Mecanismo del ataque del cemento Portland por los sulfatos. Materiales de Construcción. https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/3326/4107

Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH). (s.f.). Capítulo 3 – Propiedades del hormigón proyectado (shotcrete). https://ich.cl/unidades/capitulo-3-propiedades-del-hormigon-proyectado-shotcrete/

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (s.f.). Dominios estructurales entre la faja plegada del Marañón y la faja plegada y corrida de la Zona Subandina. https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/BSGP-110-147.pdf

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). (s.f.). Identificación de macizos rocosos alterados y su aporte en el control del riesgo geotécnico. https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/PERM35-398.pdf

Kim, M., et al. (2019). Chemical aggressivity of mine water on cementitious materials. Cement and Concrete Research. https://www.sciencedirect.com/journal/cement-and-concrete-research

Klimchouk, A., De Waele, J., Farrant, A. R., & Filipponi, M. (2022). Hypogene speleogenesis driven by magmatic intrusions: Case studies from the Peruvian Andes. SSRN Electronic Journal. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4188738

Klimchouk, A., et al. (2022). Karst hydrogeology and geomorphology. Springer. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-66970-8

Kong, C., Wang, H., Zhao, K., & Gao, X. (2022). Numerical Simulation of Long-Term Deterioration of Rock Mass Supported by Shotcrete Lining. Frontiers in Earth Science, 10, Article 891084. https://doi.org/10.3389/feart.2022.891084

Laurente Paredes, J. (s.f.). Uso de shotcrete vía húmeda con fibra metálica y su influencia en la caída de rocas en Sociedad Minera Corona S.A. Universidad Nacional del Centro del Perú. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4909/Laurente%20Paredes.pdf?sequence=1&isAllowed=y

López, M., et al. (2019). Mine water chemistry and effects on concrete durability. https://link.springer.com

Manquehual, C., Jakobsen, P., Holter, K., De Weerdt, K., & Bruland, A. (2023). Investigation of leaching in steel fiber-reinforced shotcrete exposed to fresh and saline groundwater in a subsea road tunnel. Cement and Concrete Research, 163, 107011. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.107011

Martinez, J. y Huarcaya, J. (2023). Optimizacion en el consumo de shotcrete mejorando el control de flujo del agua en el subnivel 274 de la Unidad Minera Ticlio. [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero de Minas]. Repositorio Institucional Continental. https://hdl.handle.net/20.500.12394/13767

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, properties and materials (4th ed.). McGraw-Hill.

MINAM. (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM – ECA Agua. https://www.gob.pe/minam

Minera San Cristóbal S.A. (2024). Reporte de sostenibilidad 2024. https://www.minerasancristobal.com/reportesostenibilidad2024/pdf/Reporte-de-Sostenibilidad-2024.pdf

Ministerio de Energía y Minas del Perú. (s.f.). 4.2.7 Hidrogeología: Estudio de medio físico. https://extranet.minem.gob.pe/seal/ArchivosAdjuntos/DMET_ViewFile?ID_MAESTRA=5858&ID_FUENTE=22&ID_MENU=0016&ID_SECCION=2&ID_ARCHIVO=20

Ministerio de Energía y Minas del Perú. (s.f.). Volcan Compañía Minera S.A.C. (Proyecto Carahuacra). https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4683726-volcan-compania-minera-s-a-c-proyecto-carahuacra

Ministerio de Energía y Minas. (2014). Decreto Supremo N.º 040-2014-EM – Reglamento de Gestión Ambiental. https://www.gob.pe/minem

Naiborhu, K. y. A., Anggayana, K., Widodo, L. E., & Wibowo, A. P. (2024). Estimating Groundwater Inflow to The Underground Mine Works using a 3D Groundwater Model at Vein Kubang Cicau, UBPE Pongkor. Indonesian Journal On Geoscience, 11(3), 423-435. https://doi.org/10.17014/ijog.11.3.423-435

Nordstrom, D. (2011). Mine drainage and environmental impacts. Elements Journal. https://www.elementsmagazine.org

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). (s.f.). Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf

Pehovaz I. (2023). Influencia de la activación alcalina del relave minero para el sostenimiento con shotcrete en una mina del centro del Perú. [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero de Minas]. Repositorio Academico UPC. http://hdl.handle.net/10757/672044

Pérez B. (2021). Análisis de variables operacionales en la dosificación del Shotcrete en la rampa 4025, nivel 4000 para la explotación de la veta Guisela en la

Unidad Minera Chungar. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Repositorio Institucional Continental. https://hdl.handle.net/20.500.12394/10439

Pérez-Muñoz, D., & Gutiérrez, A. (2023). Influencia de variables experimentales en las propiedades mecánicas de los concretos reforzados con fibras de acero (SFRC) en experimentos de degradación por cloruros: Revisión bibliográfica y análisis estadístico. SciELO México. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-68352023000200002

Putzmeister. (s.f.). Shotcrete reforzado con fibras: Manual básico. https://bestsupportunderground.com/shotcrete-reforzado-con-fibras/

Qiu, X., Fan, X., Xu, H., Li, L., Jiang, H., & Chen, C. (2023). Corrosion characteristics of low-carbon steel anchor bolts in a carbonaceous mudstone environment. Journal Of Central South University, 30(4), 1107-1122. https://doi.org/10.1007/s11771-023-5296-6

Quillama Almidón, J. M. (2019). Caracterización geológica y estructural de la Unidad Minera Atacocha (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3609/1/TESIS%20M807_Qui.pdf

Quispe C. (2024). Análisis de la dosificación en el diseño de shotcrete para la reducción de costos en procesos de minería subterránea. [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero de Minas]. Repositorio Institucional UNI. http://hdl.handle.net/20.500.14076/27348

Ramos B. (2023). Optimización en el consumo de shotcrete mejorando el control de flujo del agua en el subnivel 274 de la Unidad Minera Ticlio. [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero de Minas]. Repositorio Institucional Continental. https://hdl.handle.net/20.500.12394/13767

Rhoades, J. D., et al. (1999). Soil electrical conductivity and salinity. https://www.ars.usda.gov

Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE). (2021). Informe N.º 00388-2021-SENACE-PE/DEAR. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1937980/Informe%20N%C2%B0%2000388-2021-SENACE-PE/DEAR.pdf

Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE). (2021). Informe N.º 00388-2021-SENACE-PE/DEAR. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1937980/Informe%20N%C2%B0%2000388-2021-SENACE-PE/DEAR.pdf

Singhal, B. B. S., & Gupta, R. P. (2010). Applied hydrogeology of fractured rocks (2.a ed.). Springer. https://cloud.env.nm.gov/resources/_translator.php/YzI1YTZlYjhhMzk3NTAzNTk5ZjZmZmExNl82NTgxOQ~~.pdf

Singhal, B. B. S., & Gupta, R. P. (2010). Applied hydrogeology of fractured rocks. Springer. https://link.springer.com/book/10.1007/978-90-481-8799-7

Skalny, W., Marchand, J., & Odler, I. (2002). Sulfate attack on concrete. CRC Press. https://www.routledge.com/Sulfate-Attack-on-Concrete/Skalny-Marchand-Odler/p/book/9780415235938

Thiessen Perú. (s.f.). Shotcrete en minería. https://thiessenperu.com/shotcrete-en-mineria/

Thomas, M. (2011). The effect of supplementary materials on concrete durability. https://www.routledge.com

Tian, S., Shen, Y., Li, S., Ma, W., Lv, Y., & Li, X. (2022). Study on Splitting Damage Characteristics of a Rock–Shotcrete Interface Subjected to Corrosive Water. Sustainability, 14(9), 4987. https://doi.org/10.3390/su14094987

Tong, Y., Wang, Y., Zhang, S., Chen, Y., Li, Z., & Niu, D. (2021). Study on Mechanical Properties of Basalt Fiber Shotcrete in High Geothermal Environment. Materials, 14(24), 7816. https://doi.org/10.3390/ma14247816

Top Project Minería S.A.C. (s.f.). Shotcrete vía húmeda vs. vía seca: Diferencias y aplicaciones en obras civiles en Perú. https://tpmineria.com.pe/shotcrete-via-humeda-vs-via-seca-diferencias-y-aplicaciones-en-obras-civiles-en-peru/

Universidad Continental. (2023). Mejoramiento del proceso de sostenimiento con shotcrete para la reducción de los costos operativos en la Unidad Minera San Cristóbal. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13892/5/IV_FIN_110_TE_Salvador_Buendia_2023.pdf

Universidad de Chile. (s.f.). Propuesta de procedimiento de reutilización de fibra de polipropileno recuperada en hormigón proyectado: Caso estudio. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/176545/Propuesta-de-procedimiento-de-reutilizaci%C3%B3n-de-fibra-de-polipropileno-recuperada-en-hormig%C3%B3n-proyectado.pdf?sequence=1

Universidad de Oviedo. (2007). Caracterización de macizos rocosos. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/62365/2007CaracterizaciC3%B3nMacizosRocosos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC). (s.f.). Repositorio institucional UNDAC. http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/8/browse?type=title&sort_by=1&order=ASC&rpp=20&etal=-1&null=&offset=378

Universidad Nacional de Colombia. (s.f.). Estudio de la resistencia al ataque físico por sulfatos en un concreto liviano con arcilla expandida. https://repositorio.unal.edu.co/items/a721d238-9f05-412d-a155-db5fcf5dd737

Universidad Politécnica de Valencia (UPV). (s.f.). Determinación de sulfatos en aguas. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=MtqhbujTrDw

Viza I. (2022). Análisis del sostenimiento definitivo para roca clase IV, V,VI, en el tunel de relaves salveani capillune, Proyecto Quellaveco. [Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero de Minas]. Repositorio Academico UNAM. https://repositorio.unam.edu.pe/items/95928eff-c8bb-437c-9404-b88c0789ed50

Yang, J., Deng, S., Li, G., & Dai, X. (2025). Degradation law and experimental study of high-performance shotcrete under the coupling effect of sulfate and chloride salt. Materials, 18(19), 4505. https://doi.org/10.3390/ma18194505

Yeh, H.-F., & Lee, C.-H. (2024). Review: Andesitic aquifers—hydrogeological conceptualization and flow mechanisms. Hydrogeology Journal, 32, 1–18. https://link.springer.com/article/10.1007/s10040-024-02784-0

Zhang, L., et al. (2019). Ion diffusion in cementitious materials. Cement and Concrete Composites. https://www.sciencedirect.com

ANEXOS

Anexo 1.

Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Método
a) Interrogante general ¿Cómo influye la evaluación hidrogeológica del macizo rocoso preexistente en la estabilidad del sostenimiento aplicado en labores permanentes de unidades mineras subterráneas?	**a) Objetivo General** Realizar la evaluación hidrogeológica del macizo rocoso preexistente para garantizar la estabilidad del sostenimiento aplicado en labores permanentes de unidades mineras subterráneas.	**a) Hipótesis General** La correcta evaluación hidrogeológica del macizo rocoso preexistente realizado en labores permanentes de unidades mineras subterráneas garantizará la estabilidad y durabilidad del sostenimiento aplicado en dichas labores.	**a) Variable dependiente:** Sistemas de sostenimiento de labores permanentes. **Dimensiones:** • Calidad y tipo de shotcrete • Dosificación aplicada • Método de aplicación **b) Variable independiente:** Evaluación hidrogeológica del macizo rocoso. **Dimensiones**: • Propiedades físicas del agua • Propiedades químicas del agua	**A. Tipo de investigación** Aplicada, de nivel explicativo. **B. Diseño de la investigación** No experimental, transversal y observacional. **C. Ámbito de estudio** Unidades mineras subterráneas de la Sierra Central del Perú. **D. Población** Unidades mineras subterráneas que emplean shotcrete **E. Muestra** Cinco unidades mineras. **F. Técnicas de recolección de datos** Observación analítica, análisis documental, ensayos de laboratorio y entrevistas técnicas. **G. Instrumentos** Hojas de observación, fichas de análisis químico, formatos de campo y guías de entrevista
b) Interrogantes Específicos (1) ¿Cuál es el tipo de sostenimiento adecuado para labores permanentes en unidades mineras subterráneas a partir de lanzamiento de shotcrete que garantice la estabilidad del macizo rocoso? (2) ¿ Cuál es la composición química que comprende a los parámetros fisicoquímicos del agua residual (conductividad, la dureza, el total de sólidos disueltos - TDS y el pH) en el macizo rocoso preexistente en unidades mineras subterráneas?	**b) Objetivos Específicos** (1) Establecer el tipo de sostenimiento adecuado para labores permanentes en unidades mineras subterráneas a partir de la dosificación de shotcrete que garantice la estabilidad del macizo rocoso. (2) Analizar la composición química que comprende los parámetros fisicoquímicos del agua residual (conductividad, la dureza, el total de sólidos disueltos - TDS y el pH) para garantizar la estabilidad del macizo rocoso en las labores permanentes de unidades mineras subterráneas.	**b) Hipótesis Específicas** (1) La adecuada elección del tipo de sostenimiento para labores permanentes en unidades mineras subterráneas a partir de la dosificación de shotcrete garantizarán la estabilidad del macizo rocoso. (2) El análisis riguroso de la composición química que comprende los parámetros fisicoquímicos del agua residual (conductividad, la dureza, el total de sólidos disueltos - TDS y el pH) acreditarán la estabilidad del macizo rocoso en las labores permanentes de unidades mineras subterráneas.		

Nota. Elaboración propia.

Anexo 2.

Ficha de Seguridad para Arena

Scharlau

página: 1/6

Ficha de datos de seguridad
según 1907/2006/CE, Artículo 31 (REACH)

fecha de impresión 31.10.2013 Revisión: 31.10.2013

1 Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

· **Identificador del producto**

· **Nombre comercial:** Arena de mar, lavada, fina

· **Número del artículo:** AR0100
· **Número CAS:**
14808-60-7
· **Número CE:**
238-878-4
· **Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**
No existen más datos relevantes disponibles.
· **Utilización del producto / de la elaboración:** Reactivo de laboratorio

· **Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad**
· **Fabricante/distribuidor:**
Scharlab, S.L.
C/Gato Pérez, 33. Pol.Ind. Mas d'en Cisa
08181 Sentmenat (Barcelona) SPAIN
Tel: (+34) 93 745 64 00 - FAX: (+34) 93 715 27 65
email: scharlab@scharlab.com
Internet Web Site: www.scharlab.com
· **Representante regional:**
Scharlab, S.L.
C/Gato Pérez, 33. Pol.Ind. Mas d'en Cisa
08181 Sentmenat (Barcelona) ESPAÑA
Tel: (+34) 93 745 64 00 - FAX: (+34) 93 715 27 65
email: scharlab@scharlab.com
Internet Web Site: www.scharlab.com
· **Área de información:** Departamento técnico
· **Teléfono de emergencia:** Scharlab, S.L. (+34) 93 715 18 11

2 Identificación de los peligros

· **Clasificación de la sustancia o de la mezcla**
· **Clasificación con arreglo al Reglamento (CE) nº 1272/2008**
La sustancia no se ha clasificado de conformidad con el reglamento CLP.

· **Clasificación con arreglo a la Directiva 67/548/CEE o Directiva 1999/45/CE** Nulo
· **Indicaciones adicionales sobre los riesgos para personas y el medio ambiente:** Nulo

· **Elementos de la etiqueta**
· **Etiquetado con arreglo al Reglamento (CE) nº 1272/2008** suprimido
· **Pictogramas de peligro** suprimido
· **Palabra de advertencia** suprimido
· **Indicaciónes de peligro** suprimido
· **Otros peligros**
· **Resultados de la valoración PBT y mPmB**
· **PBT:** No aplicable.
· **mPmB:** No aplicable.

3 Composición/información sobre los componentes

· **Caracterización química: Sustancias**
· **Denominación Nº CAS**
14808-60-7 cuarzo (SiO2)

(continúa en la página 2)

Ficha de datos de seguridad
según 1907/2006/CE, Artículo 31 (REACH)

fecha de impresión 31.10.2013 *Revisión: 31.10.2013*

Nombre comercial: Arena de mar, lavada, fina

(viene de la página 1)

· ***Número(s) de identificación***
· ***Número CE:*** 238-878-4

4 Primeros auxilios

· ***Descripción de los primeros auxilios***
· ***Instrucciones generales:*** No se precisan medidas especiales.
· ***En caso de inhalación del producto:***
Suministrar aire fresco. En caso de trastornos, consultar al médico.
· ***En caso de contacto con la piel:*** Por regla general, el producto no irrita la piel.
· ***En caso de contacto con los ojos:***
Limpiar los ojos abiertos durante varios minutos con agua corriente.
· ***En caso de ingestión:*** Consultar un médico si los trastornos persisten.
· ***Indicaciones para el médico:***
· ***Principales síntomas y efectos, agudos y retardados***
No existen más datos relevantes disponibles.
· ***Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente***
No existen más datos relevantes disponibles.

5 Medidas de lucha contra incendios

· ***Medios de extinción***
· ***Sustancias extintoras apropiadas:***
CO_2, polvo extintor o chorro de agua rociada. Combatir incendios mayores con chorro de agua rociada o espuma resistente al alcohol.
· ***Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla***
No existen más datos relevantes disponibles.
· ***Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios***
· ***Equipo especial de protección:*** No se requieren medidas especiales.

6 Medidas en caso de vertido accidental

· ***Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia***
No es necesario.
· ***Precauciones relativas al medio ambiente:*** No se requieren medidas especiales.
· ***Métodos y material de contención y de limpieza:*** Recoger mecánicamente.
· ***Referencia a otras secciones***
No se desprenden sustancias peligrosas.
Ver capítulo 7 para mayor información sobre una manipulación segura.
Ver capítulo 8 para mayor información sobre el equipo personal de protección.
Para mayor información sobre cómo desechar el producto, ver capítulo 13.

7 Manipulación y almacenamiento

· ***Manipulación:***
· ***Precauciones para una manipulación segura*** No se requieren medidas especiales.
· ***Prevención de incendios y explosiones:*** No se requieren medidas especiales.

· ***Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades***
· ***Almacenamiento:***
· ***Exigencias con respecto al almacén y los recipientes:*** No se requieren medidas especiales.
· ***Normas en caso de un almacenamiento conjunto:*** No es necesario.

(continúa en la página 3)

Scharlau

Ficha de datos de seguridad
según 1907/2006/CE, Artículo 31 (REACH)

fecha de impresión 31.10.2013 *Revisión: 31.10.2013*

Nombre comercial: Arena de mar, lavada, fina

(viene de la página 2)

· ***Indicaciones adicionales sobre las condiciones de almacenamiento:*** Ningunos, -as.
· ***Usos específicos finales*** No existen más datos relevantes disponibles.

8 Controles de exposición/protección individual

· ***Instrucciones adicionales para el acondicionamiento de instalaciones técnicas:***
Sin datos adicionales, ver punto 7.

· ***Parámetros de control***
· ***Componentes con valores límite admisibles que deben controlarse en el puesto de trabajo:***
14808-60-7 cuarzo (SiO2)
LEP () Valor de larga duración: 0,1* 0,05** mg/m³
*Fracción resp.: d, y,**Propuesta de modificación
· ***Indicaciones adicionales:***
Como base se han utilizado las listas vigentes en el momento de la elaboración.

· ***Controles de la exposición***
· ***Equipo de protección individual:***
· ***Medidas generales de protección e higiene:***
Se deben observar las medidas de seguridad para el manejo de productos químicos.
· ***Protección respiratoria:*** No es necesario.
· ***Protección de manos:***
El material del guante deberá ser impermeable y resistente al producto / substancia / preparado.
Ante la ausencia de tests específicos, no se puede recomendar ningún material específico para guantes de protección contra el producto / preparado / mezcla de substancias químicas.
Selección del material de los guantes en función de los tiempos de rotura, grado de permeabilidad y degradación.
· ***Material de los guantes***
La elección del guante adecuado no depende únicamente del material, sino también de otras características de calidad, que pueden variar de un fabricante a otro.
· ***Tiempo de penetración del material de los guantes***
El tiempo de resistencia a la penetración exacto deberá ser pedido al fabricante de los guantes.
Este tiempo debe ser respetado.
· ***Protección de ojos:*** No es necesario.

9 Propiedades físicas y químicas

· ***Información sobre propiedades físicas y químicas básicas***
· ***Datos generales***
· ***Aspecto:***

Forma:	Sólido
Color:	Gris
· ***Olor:***	Inodoro
· ***Umbral olfativo:***	No determinado.
· ***valor pH:***	No aplicable.
· ***Cambio de estado***	
Punto de fusión /campo de fusión:	1713 °C
Punto de ebullición /campo de ebullición:	2230 °C
· ***Punto de inflamación:***	No aplicable.
· ***Inflamabilidad (sólido, gaseiforme):***	La sustancia no es inflamable.

(continúa en la página 4)

Ficha de datos de seguridad
según 1907/2006/CE, Artículo 31 (REACH)

fecha de impresión 31.10.2013 *Revisión: 31.10.2013*

Nombre comercial: Arena de mar, lavada, fina

(viene de la página 3)

· ***Temperatura de ignición:***	
Temperatura de descomposición:	No determinado.
· ***Autoinflamabilidad:***	No determinado.
· ***Peligro de explosión:***	El producto no es explosivo.
· ***Límites de explosión:***	
Inferior:	No determinado.
Superior:	No determinado.
· ***Presión de vapor a 1732 °C:***	13,5 hPa
· ***Densidad a 20 °C:***	2,2-2,6 g/cm³
· ***Densidad a granel a 20 °C:***	1400 kg/m³
· ***Densidad relativa***	No determinado.
· ***Densidad de vapor***	No aplicable.
· ***Velocidad de evaporación***	No aplicable.
· ***Solubilidad en / miscibilidad con agua:***	No determinado.
· ***Coeficiente de reparto (n-octanol/agua):***	No determinado.
· ***Viscosidad:***	
Dinámica:	No aplicable.
Cinemática:	No aplicable.
· ***Información adicional***	No existen más datos relevantes disponibles.

10 Estabilidad y reactividad

· ***Reactividad***
· ***Estabilidad química***
· ***Descomposición térmica / condiciones que deben evitarse:***
No se descompone al emplearse adecuadamente.
· ***Posibilidad de reacciones peligrosas*** No se conocen reacciones peligrosas.
· ***Condiciones que deben evitarse*** No existen más datos relevantes disponibles.
· ***Materiales incompatibles:*** No existen más datos relevantes disponibles.
· ***Productos de descomposición peligrosos:***
No se conocen productos de descomposición peligrosos.

11 Información toxicológica

· ***Información sobre los efectos toxicológicos***
· ***Toxicidad aguda:***
· ***Efecto estimulante primario:***
· ***en la piel:*** No produce irritaciones.
· ***en el ojo:*** No produce irritaciones.
· ***Sensibilización:*** No se conoce ningún efecto sensibilizante.
· ***Indicaciones toxicológicas adicionales:***
Según nuestra experiencia y las informaciones que tenemos al respecto, el producto no produce ningún efecto perjudicial para la salud cuando se maneja adecuadamente y se emplea con los fines especificados.
El producto no requiere etiquetaje conforme a la última versión de las Listas de la CE.

(continúa en la página 5)

Ficha de datos de seguridad
según 1907/2006/CE, Artículo 31 (REACH)

fecha de impresión 31.10.2013 *Revisión: 31.10.2013*

Nombre comercial: Arena de mar, lavada, fina

(viene de la página 4)

12 Información ecológica

· ***Toxicidad***
· ***Toxicidad acuática:*** No existen más datos relevantes disponibles.
· ***Persistencia y degradabilidad*** No existen más datos relevantes disponibles.
· ***Comportamiento en sistemas ecológicos:***
· ***Potencial de bioacumulación*** No existen más datos relevantes disponibles.
· ***Movilidad en el suelo*** No existen más datos relevantes disponibles.
· ***Indicaciones medioambientales adicionales:***
· ***Indicaciones generales:*** Por regla general, no es peligroso para el agua
· ***Resultados de la valoración PBT y mPmB***
· ***PBT:*** No aplicable.
· ***mPmB:*** No aplicable.
· ***Otros efectos adversos*** No existen más datos relevantes disponibles.

13 Consideraciones relativas a la eliminación

· ***Métodos para el tratamiento de residuos***
· ***Recomendación:*** Pequeñas cantidades pueden ser desechadas con la basura doméstica.

· ***Embalajes sin limpiar:***
· ***Recomendación:*** Eliminar conforme a las disposiciones oficiales.

14 Información relativa al transporte

· ***Número UN***
· ***ADR, ADN, IMDG, IATA*** suprimido
· ***Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas***
· ***ADR, ADN, IMDG, IATA*** suprimido
· ***Clase(s) de peligro para el transporte***

· ***ADR, ADN, IMDG, IATA***
· ***Clase*** suprimido
· ***Grupo de embalaje***
· ***ADR, IMDG, IATA*** suprimido
· ***Peligros para el medio ambiente:***
· ***Contaminante marino:*** No
· ***Precauciones particulares para los usuarios*** No aplicable.
· ***Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC*** No aplicable.
· ***"Reglamentación Modelo" de la UNECE:*** -

15 Información reglamentaria

· ***Evaluación de la seguridad química:***
Una evaluación de la seguridad química no se ha llevado a cabo.

16 Otra información

Los datos se fundan en el estado actual de nuestros conocimientos, pero no constituyen garantía alguna de cualidades del producto y no generan ninguna relación jurídica contratual.

· ***Departamento de creación de MSDS:*** Departamento de seguridad de productos
· ***Interlocutor:*** msds@scharlab.com

(continúa en la página 6)

Scharlau

Ficha de datos de seguridad
según 1907/2006/CE, Artículo 31 (REACH)

fecha de impresión 31.10.2013 *Revisión: 31.10.2013*

Nombre comercial: Arena de mar, lavada, fina

(viene de la página 5)

· ***Abreviaturas y acrónimos:***
RID: Règlement international concernant le transport des marchandises dangereuses par chemin de fer (Regulations Concerning the International Transport of Dangerous Goods by Rail)
ICAO: International Civil Aviation Organization
ADR: Accord européen sur le transport des marchandises dangereuses par Route (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road)
IMDG: International Maritime Code for Dangerous Goods
IATA: International Air Transport Association
GHS: Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals
EINECS: European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances
CAS: Chemical Abstracts Service (division of the American Chemical Society)

Anexo 3.

Ficha de Seguridad para Cemento

HDSM_0119-A

CEMENTO PORTLAND - HOJA DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO		
1. Identificación de la Sustancia		
Nombre Comercial:	Cemento Portland.	
Tipo de Producto:	Cemento Tipo I.	
Suministrador:	CEMENTERA DEL PERÚ S.A.C Km 17.5 Asociación la Concordia Villa el Salvador. Tel.:	
Atención al Cliente:	MIXERCON S.A	
Usos:	Obras de Construcción en General.	

2. Información sobre los componentes	
Descripción del Producto:	Molienda Conjunta de Clinker + Yeso
Componentes Riesgosos:	No posee.

3. Identificación de Peligros	
Peligros para la salud:	En condiciones normales de uso, es de esperar que no ocasione riesgos para la salud. El contacto con el cemento Portland, ya sea hidratado o seco, es peligroso y puede causar irritación severa a la piel y quemaduras químicas, así como daños a los tejidos humanos.
Órganos Sensibles	Pulmones ,piel ,ojos ,estomago /Intestinos y otros órganos internos
Ojos	• Evite contacto con los ojos. La exposición al polvo de cemento puede causar irritación de los ojos y afectar la visibilidad; asimismo, puede resultar en conjuntivitis e inflamación de la mucosa que cubre el párpado interno y la parte frontal del globo ocular. • Las partículas finas del polvo de cemento pueden causar irritación en los ojos y provocar dolor, Hinchazón e inflamación de los ojos.
Piel	• Evite contacto con la piel. La exposición al polvo de cemento puede causar irritación de la piel de forma Química o mecánica. La transpiración o la humedad pueden agravar esta condición.
Inhalación	• Evite la inhalación prolongada y repetida del polvo de cemento. La exposición aguda y crónica a estos polvos puede irritar el aparato respiratorio y provocar la constricción de los bronquios.

Ingestión:	• Es probable que no cause daño la ingestión accidental de cantidades diminutas del polvo durante el manejo industrial del cemento. • La ingestión del cemento Portland puede causar irritación en la boca, garganta, el esófago y estómago, junto con nausea, vómito y diarrea. • La ingestión también puede causar quemaduras a la mucosa de la boca, el esófago y estómago, así como cuerpos arenosos en el estómago e intestinos, mismos que pueden ser expulsados de forma espontánea, pero los cuerpos más grandes pueden causar una obstrucción y requerir de cirugía para sustraerlos.
Riesgos para el medio ambiente	No presenta riesgos hacia el medio ambiente, salvo la eventual generación de polvo en caso de derrame.

4. Medidas de Primeros Auxilios	
Contacto con los ojos	Inmediatamente enjuague los ojos con grandes cantidades de agua y siga enjuagando durante por lo menos 15minutos. **Consulte al médico lo antes posible**.
Contacto con la Piel	Lave cuidadosamente las áreas afectadas con agua, y, si lo tiene a mano, con jabón. Para evitar mayor irritación, aplique gasa estéril a las áreas afectadas de la piel. Consulte al médico si hay o si persiste enrojecimiento o irritación.
Inhalación	Si una persona inhala grandes cantidades de Cemento Portland, trasladarla inmediatamente a donde haya aire puro. Si se ha producido asfixia con paro-respiratorio, emplear el método de reanimación cardiopulmonar (RCP). Mantener al paciente abrigado y acostado. Conseguir atención médica tan pronto como sea posible. **Consulte al médico lo antes posible.**
Ingestión:	Si se ingiere, consulte al médico de inmediato. Beba agua para ayudar a diluir las partículas cáusticas diminutas que pueden haber llegado hasta los conductos respiratorios o gastrointestinales. **No induzca el vómito.**

5. Medidas de lucha contra incendios	
Propiedades de combustión	No es un producto combustible ,ni explosivo
Riesgos Generales	Evitar respirar el polvo

6. Medidas que deben tomarse en caso de vertido accidental.	
Precauciones Personales	Use el EPP que se especifica en la Sección 8 ("Control de la Exposición/Protección Personal).
Precauciones ambientales	No permita que ingrese a las alcantarillas ni a las vías fluviales el material que se llegue a derramar. Se debe procurar evitar derrames o exposición innecesaria del producto al aire, que genere polvo en suspensión
Método de Limpieza	Normalmente no son necesarios los procedimientos de emergencia. Los derrames grandes se pueden recoger usando bombas de vacío, palas, cubetas u otros medios, colocando el producto en tambores u otros contenedores apropiados.

7. Manipulación y almacenamiento	
Manejo	Los bultos se deben manejar con cuidado y seguridad, usando el equipo apropiado. Siempre maneje los bultos en áreas bien ventiladas. Minimice la generación del polvo y evite la exposición prolongada y repetida al polvo.
Almacenamiento	Debe evitarse toda liberación accidental. Debe evitarse que el cemento se ponga en contacto con el agua (debido a su propiedad de aglomerante hidráulico). Se recomienda almacenar el producto en ambientes cerrados.

8. Control de Exposición /Protección Personal

Lineamientos en cuanto a la exposición

Componente (%)	Núm. CAS	OSHA PEL* (TWA* de 8 horas)	ACGIH* TLV-TWA*
Escoria del cemento pórtland	65997-15-1	5 MG/m3 (polvo respirado) 15 MG/m3 (total del polvo)	3 MG/m3 (polvo respirado 10 MG/m3 (total del polvo)
Silicato tricálcico (20-70)	12168-85-3	Vea Polvos Molestos PEL	Vea Polvos Molestos TLV
Silicato dicálcico (10-60)	10034-77-2	Vea Polvos Molestos PEL	Vea Polvos Molestos TLV
Tetracalcio de aluminio ferrico (5-15)	12068-35-8	Vea Polvos Molestos PEL	Vea Polvos Molestos TLV
Sulfato de calcio (2-10)	13397-24-5	Vea Polvos Molestos PEL	Vea Polvos Molestos TLV
Óxido del calcio (0-5)	1305-78-8	5 MG/m3	2 MG/m3
Tricalcio de aluminio ferrico (1-15)	12042-78-3	Vea Polvos Molestos PEL	Vea Polvos Molestos TLV
Óxido del magnesio (0-4)	1309-48-4	15 MG/m3 (total del polvo)	10 MG/m3 (total del polvo)
Polvos molestos	—	5 MG/m3 (polvo respirado) 15 MG/m3 (total del polvo)	5 MG/m3(polvo respirado) 10 MG/m3 (total del polvo)
Sílice cristalina* (0-.1)	14808-60-7	10 MG/m3/porcentaje de sílice + 2 (polvo respirado) 30 MG/m3/porcentaje de sílice + 2 (total del polvo)	0.05 MG/m3 (polvo respirado)
Cromo hexavalente (medido como ácido crómico y cromatos)	18540-29-9	5 MG/m3 (total del polvo)	

PEL: Permissible Exposure Limits (Límites Permitidos de Exposición)
TWA: Time Weighted Average (Promedio Ponderado de Tiempo)
ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales)
TLV-TWA: Threshold Limit Value - Time Weighted Average (Valor Límite Umbral - Media Ponderada en el Tiempo)

Protección de cara y ojos	Para evitar el contacto con los ojos, cada vez que maneje el cemento Portland seco o mojado o el polvo de cemento, debe usar lentes protectores que sean apropiados y que cumplan con los estándares de la OSHA, es decir, lentes de seguridad con láminas laterales, gafas o mascarillas de protección. Debe usar gafas en condiciones de mucho polvo. No se recomienda usar lentes de contacto cuando se trabaja con el cemento.
Protección para la piel	Asimismo, se deben tomar precauciones para proteger la piel. Evite el contacto con la piel, ya que el cemento quema la piel sin aviso previo porque la piel humana no detecta fácilmente el calor que produce la quemadura. Para proteger la piel del contacto con el cemento mojado en concreto plástico (sin endurecer), mortero o lechada, use cremas que actúan como barrera; ropa impermeable con resistencia a las abrasiones y al álcali; guantes, rodilleras y botas que cumplan con los estándares de la OSHA. Inmediatamente después de trabajar con el cemento o con materiales que contienen cemento, los trabajadores deben quitarse toda la ropa que se haya manchado con el polvo de cemento y ducharse con agua y jabón. También se debe lavar la ropa.
Protección del aparato respiratorio	Evite inhalar el polvo de cemento. Para las concentraciones de polvo por arriba de los límites de exposición o para el polvo molesto o la sílice, se debe utilizar el respirador contra polvo que cuenta con la aprobación del NIOSH o la MSHA y se debe usar conforme los requerimientos que se estipulan en 29 CFR 1910.134.

9. Propiedades Físicas y Químicas

Apariencia	Polvo blanco o de color gris a negro
Olor	Inodoro
Estado físico	Sólido
pH	N/A – Sólido
Punto de fusión	N/A- El cemento pórtland es un sólido en polvo
Punto de ebullición	N/A
Punto de inflamación	N/A – No combustible y no explosivo
Límite de inflamación o explosión	N/A
Límite de explosión a bajo nivel	N/A
Límite de explosión a alto nivel	N/A
Presión del vapor (Mm. Hg@20°C)	N/A- El cemento pórtland es un sólido en polvo
Densidad del vapor (aire=1)	N/A
Gravedad específica (H_2O=1)	3.15
Solubilidad en agua	Baja (0.1 – 1.0%)
Porcentaje de volatilidad por volumen	N/A
Volatilidad del contenido orgánico	N/A
Peso molecular	No existen datos

10. Estabilidad y reactividad

Estabilidad Química	Estos productos son estables. Manténganse secos hasta no usarlos. El cemento Portland reacciona lentamente con el agua, formando así compuestos hidratados duros, liberando calor y produciendo una fuerte solución alcalina.
Materiales Incompatibles	El cemento pórtland es altamente alcalino y reacciona con los ácidos para producir una reacción violenta generadora de calor. Dependiendo del ácido que se use, puede liberar gases o vapores tóxicos; asimismo, también reacciona con los metales de aluminio y las sales de amonio. El polvo de aluminio y otros elementos alcalí y alcalinos de tierra reaccionan con el mortero o concreto mojado, liberando el gas de hidrógeno. La caliza se prende al tener contacto con el fluor y es incompatible con los ácidos; el alumbre, las sales del amonio y el magnesio. La sílice reacciona de forma violenta con agentes oxidantes poderosos, tal como el fluor, trifluoruro de boro, trifluoruro de cloro, trifluoruro de manganeso y difluoruro de oxígeno, haciendo posible que dicho contacto resulte en fuego y/o explosiones. Los silicatos se disuelven fácilmente en el ácido fluorhídrico, produciendo el tetrafluoruro corrosivo de gas-silicio.
Productos de descomposición riesgosa	El manejo de los productos secos puede generar partículas de polvo respirables que contienen silicio.
Posibilidad de reacciones Riesgosas	Ninguna

11. Información sobre la Toxicidad

Si se desea una descripción más detallada sobre la información toxicológica disponible, contactarse con el proveedor o el fabricante.

12. Información Ecológica

Ecotoxicidad
Sin toxicidad inusual reconocida para las plantas o los animales
Propiedades físico-químicas a considerar
Ver sección 9 y 10

13. Consideraciones para su disposición

La eliminación de material residual será de acuerdo con las reglamentaciones locales, estatales y federales. (Dado que el cemento Portland es estable, el material no contaminado puede conservarse para su uso futuro).
Desechar las bolsas en un área de relleno o incinerador aprobados.

14. Información sobre el transporte

Descripción de materiales peligrosos/ nombre correcto de despacho
El cemento Portland no es peligroso según las reglamentaciones del Departamento de Transportes (DOT).
Clase de riesgo
No corresponde
Número de identificación
No corresponde.
Texto exigido para los rótulos
No corresponde.
Sustancias peligrosas / cantidades susceptibles de ser informadas (RQ)
No corresponde.



15. Información Reglamentaria

Situación según la norma para Comunicación de riesgos de USDOL-OSHA, 29 CFR 1910.1200
El cemento *Portland* es considerado una "sustancia química peligrosa" según esta norma, y debería incluirse en los programas de
Comunicación de riesgo.
Situación según CERCLA/SUPERFUND 40 CFR 117 y 302
No mencionado.
Categoría de riesgo según la Ley de Enmiendas y Reautorización de Súper Fondos (SARA) (Título III), Secciones 311 y 312
El cemento *Portland* reúne las condiciones de una " sustancia peligrosa" con efectos retardados para la salud.
Situación según LA Ley SARA (Título III), Sección 313
No está sujeto a exigencias de denuncia según la Sección 313.
Situación según la Ley de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA) (en mayo de 1997)
Algunas sustancias del cemento de albañilería figuran en la lista de inventario de la Ley TSCA.
Situación según la Ley Federal de Sustancias Peligrosas
El cemento *Portland* es una "sustancia peligrosa" sujeta a estatutos promulgados bajo la ley de referencia.
Situación según la Proposición 65 de California
Este producto contiene hasta 0.05 por ciento de las sustancias químicas (elementos traza) que el Estado de California conoce que causan cáncer, defectos congénitos u otros daños a la reproducción. Las leyes de California exigen que el fabricante brinde la advertencia arriba mencionada en ausencia de ensayos definitorios que prueben que los riesgos definidos no existen.

16. Información adicional

El cemento Portland solamente debería ser usado por personas bien informadas al respecto. La clave para usar el producto de manera segura exige que el usuario reconozca que el cemento Portland reacciona químicamente con el agua, y que algunos de los productos intermedios de esta reacción (que son aquellos presentes cuando un producto del cemento Portland está "fraguando") presentan un riesgo más grave que el del cemento Portland seco en sí mismo. Mientras que la información provista en esta ficha técnica de seguridad se considera que brinda un resumen útil de los riesgos del cemento Portland como se usa comúnmente, la ficha no puede anticipar y proporcionar la totalidad de la información que podría ser necesaria en todas las situaciones. Los usuarios inexpertos de los productos deberían obtener una capacitación correcta antes de usar este producto.

Mixercon S.A. No se hace responsable por los daños que puedan producirse a cosas y/o personas como consecuencia de la deficiente manipulación o el uso incorrecto de este producto.

Anexo 4.

Ficha de Seguridad para Activador Delvo

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

MBCC GROUP

MasterSet DELVO

Versión	Fecha de revisión:	Número SDS:	Fecha de la última expedición: 04/23/2020
1.1	01/04/2021	000000247307	Fecha de la primera expedición: 04/23/2020

SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN

Nombre del producto : MasterSet DELVO
Código del producto : 000000000050526009 000000000050526009

Informaciones sobre el fabricante o el proveedor

Nombre de la empresa proveedora : Master Builders-Admixtures US,LLC
Dirección : 23700 CHAGRIN BLVD
Beachwood OH 44122
Teléfono de emergencia : ChemTel: +1-813-248-0585 USA: +1-800-255-3924 Contract Number MIS9240420

Uso recomendado del producto químico y restricciones de uso

Uso recomendado : Producto para la química de la construcción
Restricciones de uso : Reservado para uso industrial y profesional.

SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Clasificación GHS de acuerdo con 29 CFR 1910.1200

Corrosión o irritación cutáneas : Categoría 2

Lesiones o irritación ocular graves : Categoría 2A

Sensibilización cutánea : Categoría 1B

Elementos de etiquetado GHS

Pictogramas de peligro :



Palabra de advertencia : Atención

Indicaciones de peligro : H319 Provoca irritación ocular grave.
H315 Provoca irritación cutánea.
H317 Puede provocar una reacción alérgica en la piel.

Consejos de prudencia :

Prevención:

P280 Llevar guantes/ ropa de protección/ equipo de protección para los ojos/ la cara.
P261 Evitar respirar el polvo/ el humo/ el gas/ la niebla/ los vapores/ el aerosol.
P272 Las prendas de trabajo contaminadas no podrán sacarse del lugar de trabajo.
P264 Lavarse la cara, las manos y toda la piel expuesta, concienzudamente tras la manipulación.

Intervención:

P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
P333 + P313 En caso de irritación o erupción cutánea: Consultar a un médico.
P302 + P352 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con abundante agua.
P332 + P313 En caso de irritación cutánea: Consultar a un médico.
P362 + P364 Quitar las prendas contaminadas y lavarlas antes de volver a usarlas.
P337 + P313 Si persiste la irritación ocular: Consultar a un médico.

Eliminación:

P501 Eliminar el contenido/el recipiente en un punto de recogida de residuos peligrosos.

Otros peligros

Ninguna conocida.

SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Naturaleza química : Solución en base a:
Ácidos orgánicos
en agua

Componentes

Nombre químico	No. CAS	Concentración (% w/w)
ácido nitrilotrimetilentrifosfónico	6419-19-8	>= 0 - < 15
hidróxido sódico	1310-73-2	>= 0 - < 1
Ácido fosfónico	13598-36-2	>= 0.1 - < 0.3
4-cloro-3-metilfenol	59-50-7	>= 0 - < 0.3

SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS

Recomendaciones generales : Retire a la persona de la zona peligrosa.
Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.
No deje a la víctima desatendida.

Si es inhalado : En caso de inconsciencia, colocar en posición de recuperación y pedir consejo médico.
Si los síntomas persisten consultar a un médico.

En caso de contacto con la piel : Si continúa la irritación de la piel, llamar al médico.
Si esta en piel, aclare bien con agua.
Si esta en ropas, quite las ropas.

En caso de contacto con los ojos : Enjuagar inmediatamente los ojos con abundante agua.
Retirar las lentillas.
Proteger el ojo no dañado.
Manténgase el ojo bien abierto mientras se lava.
Si persiste la irritación de los ojos, consultar a un especialista.

Por ingestión : Lavar la boca con agua y después beber agua abundante.

		Mantener el tracto respiratorio libre. No dar leche ni bebidas alcohólicas. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Si los síntomas persisten consultar a un médico.
Principales síntomas y efectos, agudos y retardados	:	Provoca irritación cutánea. Puede provocar una reacción alérgica en la piel. Provoca irritación ocular grave.
Notas para el médico	:	Tratar sintomáticamente.

SECCIÓN 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción apropiados	:	Espuma Spray de agua Polvo seco Dióxido de carbono (CO2)
Medios de extinción no apropiados	:	chorro de agua
Peligros específicos en la lucha contra incendios	:	Ver HDS apartado 10 - Estabilidad y reactividad.
Productos de combustión peligrosos	:	Vapores nocivos oxidos de nitrógeno humos negro de humo óxidos de carbono
Otros datos	:	Procedimiento estándar para fuegos químicos. Usar medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias del local y a sus alrededores.
Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios	:	Si es necesario, usar equipo de respiración autónomo para la lucha contra el fuego.

SECCIÓN 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia	:	Utilícese equipo de protección individual.
Precauciones relativas al medio ambiente	:	Evite que el producto penetre en el alcantarillado. Impedir nuevos escapes o derrames si puede hacerse sin riesgos. Si el producto contaminara ríos, lagos o alcantarillados, informar a las autoridades respectivas.
Métodos y material de contención y de limpieza	:	Neutralizar con álcalis, cal o amoniaco. Recojer con un producto absorbente inerte (por ejemplo, arena, diatomita, fijador de ácidos, fijador universal, serrín). Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

SECCIÓN 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Indicaciones para la protec-	:	Disposiciones normales de protección preventivas de incen-

ción contra incendio y explosión		dio.
Consejos para una manipulación segura	:	No respirar vapores/polvo. Evítese la exposición - recábense instrucciones especiales antes del uso. Evítese el contacto con los ojos y la piel. Equipo de protección individual, ver sección 8. No fumar, no comer ni beber durante el trabajo. Eliminar el agua de enjuague de acuerdo con las regulaciones nacionales y locales. Las personas susceptibles a problemas de sensibilización de piel o asma, alergias, enfermedades respiratorias crónicas o recurrentes, no deben ser empleadas en ningún proceso en el cual se esté utilizando esta mezcla.
Condiciones para el almacenaje seguro	:	Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Las instalaciones eléctricas y los materiales de trabajo deben estar conforme a las normas de seguridad.
Información complementaria sobre las condiciones de almacenamiento	:	Consérvese únicamente en el recipiente de origen, en lugar fresco y bien ventilado y lejos de fuente de ignición, calor o llama. Proteger de la irradiación solar directa.
Materias que deben evitarse	:	No hay información aplicable disponible. No almacenar conjuntamente con ácidos.
Más información acerca de la estabilidad durante el almacenamiento	:	No se descompone si se almacena y aplica como se indica.

SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

Componentes	No. CAS	Tipo de valor (Forma de exposición)	Parámetros de control / Concentración permisible	Base
hidróxido sódico	1310-73-2	VLS	2 mg/m3	ACGIH
		Ceil_Time	2 mg/m3	NIOSH
		PEL	2 mg/m3	29 CFR 1910.1000 (Tabla Z-1)
		VLS	2 mg/m3	OSHA - Tabla Z-1-A (29 CFR 1910.1000)
		C	2 mg/m3	ACGIH
		C	2 mg/m3	NIOSH REL
		TWA	2 mg/m3	OSHA Z-1
		C	2 mg/m3	OSHA P0

Medidas de ingeniería : No hay información aplicable disponible.

Protección personal

Protección respiratoria	:	Si se sobrepasan los valores límites de exposición en el trabajo, es preciso utilizar un equipo de respiración homologado para ello.
Protección de las manos		
Observaciones	:	Utilice guantes protectores resistentes a químicos Debido a la gran variedad de tipos, se debe tener en cuenta el manual de instrucciones del fabricante.
Protección de los ojos	:	Frasco lavador de ojos con agua pura Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro Usar pantalla facial y traje de protección por si surgen anomalías en el proceso.
Protección de la piel y del cuerpo	:	Indumentaria impermeable Elegir una protección para el cuerpo según la cantidad y la concentración de la sustancia peligrosa en el lugar de trabajo.
Medidas de protección	:	No respirar gases/vapores/aerosoles. Evitar el contacto con la piel, ojos y vestimenta. Evítese la exposición - recábense instrucciones especiales antes del uso. La medidas de precaución habituales durante la manipulación de sustancias químicas de la construcción deben ser tenidas en consideración. Se recomienda llevar ropa de trabajo cerrada.
Medidas de higiene	:	No comer ni beber durante su utilización. No fumar durante su utilización. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto	:	líquido
Color	:	marrón claro
Olor	:	inodoro
pH	:	2.1 - 4 (77 °F / 25 °C)
Punto de congelación	:	27 °F / -3 °C
Punto de fusión		27 °F / -3 °C
Punto de ebullición	:	221 °F / 105 °C
Punto de inflamación	:	no se inflama
Tasa de evaporación	:	no determinado
Límite superior de explosividad / Limites de inflamabilidad superior	:	No hay información aplicable disponible.

Densidad relativa del vapor	:	Más pesado que el aire.
Densidad	:	aprox. 1.075 gcm3 (68 °F / 20 °C)
Solubilidad(es)		
Solubilidad en agua	:	soluble (68 °F / 20 °C)
Solubilidad en otros disolventes	:	No hay información aplicable disponible.
Coeficiente de reparto n-octanol/agua	:	No aplicable
Temperatura de autoinflamación	:	En base al contenido en agua el producto no se clasifica como inflamable.
Temperatura de descomposición	:	Ninguna descomposición, si se almacena y aplica como se indica/está prescrito.
Viscosidad		
Viscosidad, dinámica	:	no determinado
Viscosidad, cinemática	:	No hay información aplicable disponible.
Propiedades explosivas	:	No explosivo
Propiedades comburentes	:	no es comburente
Temperatura de sublimación	:	No hay información aplicable disponible.
Peso molecular	:	No hay datos disponibles.
Velocidad de corrosión del metal	:	Efecto corrosivo para el: Acero dulce aluminio El producto no se clasifica para el transporte como corrosivo.

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Reactividad	:	No se descompone si se almacena y aplica como se indica.
Estabilidad química	:	No se descompone si se almacena y aplica como se indica.
Posibilidad de reacciones peligrosas	:	No se descompone si se almacena y aplica como se indica.
Condiciones que deben evitarse	:	Ver FDS capítulo 7 - Manipulación y almacenamiento.
Materiales incompatibles	:	Ácidos fuertes Bases fuertes Agentes oxidantes fuertes Agentes reductores fuertes
Productos de descomposición peligrosos	:	fosfinas óxidos de carbono

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda

No está clasificado en base a la información disponible.

Producto:

Toxicidad aguda por inhalación : Observaciones: No hay información aplicable disponible.

Corrosión o irritación cutáneas

Provoca irritación cutánea.

Lesiones o irritación ocular graves

Provoca irritación ocular grave.

Sensibilización respiratoria o cutánea

Sensibilización cutánea

Puede provocar una reacción alérgica en la piel.

Sensibilización respiratoria

No está clasificado en base a la información disponible.

Mutagenicidad en células germinales

No está clasificado en base a la información disponible.

Carcinogenicidad

No está clasificado en base a la información disponible.

Toxicidad para la reproducción

No está clasificado en base a la información disponible.

Toxicidad específica en determinados órganos (stot) - exposición única

No está clasificado en base a la información disponible.

Toxicidad específica en determinados órganos (stot) - exposiciones repetidas

No está clasificado en base a la información disponible.

Toxicidad por aspiración

No está clasificado en base a la información disponible.

Otros datos

Producto:

Observaciones : El producto no ha sido ensayado. La valoración ha sido calculada a partir de las propiedades de sus componentes individuales.

SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Ecotoxicidad

Producto:

Toxicidad para los peces : CL0 (trucha, arcoiris): 5,000 mg/l
Tiempo de exposición: 96 h

Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos : CL0 (Daphnia magna): 400 mg/l
Tiempo de exposición: 48 h

Persistencia y degradabilidad

Sin datos disponibles

Potencial de bioacumulación

Componentes:

ácido nitrilotrimetilentrifosfónico:

Coeficiente de reparto n-octanol/agua : log Pow: -4.55
Método: otro(a)(s) (calculado)

hidróxido sódico:

Coeficiente de reparto n-octanol/agua : Observaciones: Estudios no necesarios por razones científicas.

Ácido fosfónico:

Coeficiente de reparto n-octanol/agua : log Pow: 1.15
Método: otro(a)(s) (calculado)

4-cloro-3-metilfenol:

Coeficiente de reparto n-octanol/agua : log Pow: 2.7 (77 °F / 25 °C)
Método: otro(a)(s) (calculado)

Movilidad en el suelo

Sin datos disponibles

Otros efectos adversos

Producto:

Información ecológica complementaria : Existe una alta probabilidad de que el producto no sea nocivo para los organismos acuáticos.
El producto no ha sido ensayado. Las indicaciones sobre ecotoxicología han sido calculadas a partir de las propiedades de sus componentes individuales.

SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

Métodos de eliminación.

Residuos : Elimine en conformidad con los reglamentos nacionales, estatales y locales.
Los residuos deben ser eliminados de la misma forma que la sustancia/producto.
Evitar el vertido en el alcantarillado, aguas superficiales o subterráneas.

Envases contaminados : Los envases contaminados deben ser vaciados de forma óptima de manera que después de una limpieza a fondo pueden ser reutilizados
Envases no reutilizables, deben ser eliminados como el producto.

SECCIÓN 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

Regulaciones internacionales

UNRTDG
No está clasificado como producto peligroso.

IATA-DGR
No está clasificado como producto peligroso.

Código-IMDG
No está clasificado como producto peligroso.

Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC
No aplicable al producto suministrado.

Regulación doméstica

49 CFR
No está clasificado como producto peligroso.

SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Reglamentos de Estado de los EE.UU.

Pennsylvania Right To Know

hidróxido sódico	1310-73-2

New Jersey Right To Know

hidróxido sódico	1310-73-2

Prop. 65 de California
ADVERTENCIA: Este producto puede exponer a usted a sustancias químicas incluyendo formaldehído, que es/son conocida/s por el Estado de California como causante/s de cáncer. Para mayor información ir a www.P65Warnings.ca.gov.

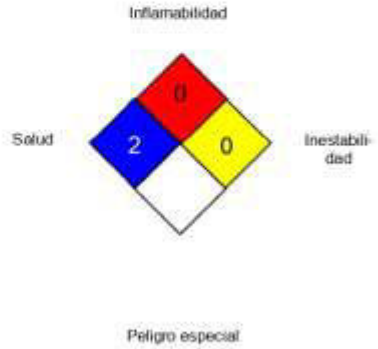
Los componentes de este producto están presentados en los inventarios siguientes:

TSCA	:	Todas las sustancias químicas en este producto están en la lista como activas en el inventario de TSCA o cumplen con las exenciones del inventario de TSCA.
DSL	:	Este producto contiene los componentes siguientes repertoriados en la lista canadiense NDSL. Todos los otros componentes están en la lista canadiense DSL. 2,2-dibromo-2-cianoacetamida

SECCIÓN 16. OTRA INFORMACIÓN

Otros datos

NFPA 704:



HMIS® IV:



Las clasificaciones del HMIS® (Sistema de Identificación de Materiales Peligrosos) se basan en una escala de clasificación de 0 a 4, donde 0 representa riesgos o peligros mínimos y 4 representa riesgos o peligros significativos. El símbolo "*" representa un peligro crónico, mientras que el símbolo "/" representa la ausencia de un peligro crónico.

Texto completo de otras abreviaturas

29 CFR 1910.1000 (Tabla Z-1)	:	OSHA - Tabla Z-1 (Límites para contaminantes del aire) 29 CFR 1910.1000 (US)
ACGIH	:	Valores límite (TLV) de la ACGIH,USA
ACGIH	:	American Conference of Governmental Industrial Hygienists - threshold limit values (US)
NIOSH	:	NIOSH Guía de Bolsillos sobre Riesgos Químicos (Estados Unidos)
NIOSH REL	:	Límites de exposición recomendados de NIOSH, EE.UU.
OSHA P0	:	OSHA - Tabla Z-1 Límites para los contaminantes del aire - 1910.1000, EE.UU.
OSHA Z-1	:	Límites de Exposición Ocupacional (OSHA),EE.UU - Tabla Z-1 Límites para los contaminantes del aire
29 CFR 1910.1000 (Tabla Z-1) / PEL	:	Límite de exposición permisible
ACGIH / C	:	Valor techo (C)
ACGIH / VLS	:	Valor límite superior:
NIOSH / Ceil_Time	:	Valor límite superior e intervalo de tiempo (si especificado):
NIOSH REL / C	:	Valor techo (C)
OSHA P0 / C	:	Valor techo (C)
OSHA Z-1 / TWA	:	Tiempo promedio ponderado

AICS - Inventario Australiano de Sustancias Químicas; ASTM - Sociedad Estadounidense para la Prueba de Materiales; bw - Peso corporal; CERCLA - Ley Integral de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Civil Ambiental; CMR - Carcinógeno, mutágeno o tóxico para la reproducción; DIN - Norma del Instituto Alemán de Normalización; DOT - Departamento de Transporte; DSL - Lista de sustancias domésticas (Canadá)); ECx - Concentración asociada con respuesta de tasa de crecimiento x%; EHS - Sustancia extremadamente peligrosa; ELx - Tasa de carga asociada

con respuesta x%; EmS - Procedimiento de emergencia; ENCS - Sustancias Químicas Existentes y Nuevas (Japón); ErCx - Concentración asociada con respuesta de tasa de crecimiento x%; ERG - Guía de respuesta ante emergencias; GHS - Sistema Globalmente Armonizado; GLP - Buena práctica de laboratorio; HMIS - Sistema de Identificación de Materiales Peligrosos; IARC - Agencia Internacional para la investigación del cáncer; IATA - Asociación Internacional de Transporte Aéreo; IBC - Código internacional para la construcción y equipamiento de Embarcaciones que transportan químicos peligros a granel; IC50 - Concentración inhibitoria máxima media; ICAO - Organización de Aviación Civil Internacional; IECSC - Inventario de Sustancias Químicas en China; IMDG - Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas; IMO - Organización Marítima Internacional; ISHL - Ley de Seguridad e Higiene Industrial (Japón); ISO - Organización Internacional para la Normalización; KECI - Inventario de Químicos Existentes de Corea; LC50 - Concentración letal para 50% de una población de prueba; LD50 - Dosis letal para 50% de una población de prueba (Dosis letal mediana); MARPOL - Convenio Internacional para prevenir la Contaminación en el mar por los buques; MSHA - Administración de seguridad y salud minera; n.o.s. - N.E.P.: No especificado en otra parte; NFPA - Asociación Nacional de Protección contra el Fuego; NO(A)EC - Concentración de efecto (adverso) no observable; NO(A)EL - Nivel de efecto (adverso) no observable; NOELR - Tasa de carga de efecto no observable; NTP - Programa Toxicológico Nacional; NZIoC - Inventario de Químicos de Nueva Zelanda; OECD - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; OPPTS - Oficina para la Seguridad Química y Prevención de Contaminación; PBT - Sustancia persistente, bioacumulativa y tóxica; PICCS - Inventario Filipino de Químicos y Sustancias Químicas; (Q)SAR - Relación estructura-actividad (cuantitativa); RCRA - Ley de Conservación y Recuperación de Recursos; REACH - Reglamento (CE) n.º 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias químicas; RQ - Cantidad reportable; SADT - Temperatura de descomposición autoacelerada; SARA - Ley de Enmiendas y Reautorización de Superfondos; SDS - Ficha de datos de seguridad; TCSI - Inventario de Sustancias Químicas de Taiwán; TSCA - Ley para el Control de Sustancias Tóxicas (Estados Unidos); UN - Naciones Unidas; UNRTDG - Recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el transporte de mercancías peligrosas; vPvB - Muy persistente y muy bioacumulativo

Fecha de revisión : 01/04/2021

Respaldamos las iniciativas Responsible Care® a nivel mundial. Valoramos la salud y seguridad de nuestros empleados, clientes, suministradores y vecinos, y la protección del medioambiente. Nuestro compromiso con el Resposible Care es integral llevando a cabo a nuestro negocio y operando nuestras fábricas de forma segura y medioambientalmente responsable, ayudando a nuestros clientes y suministradores a asegurar la manipulación segura y respetuosa con el medioambiente de nuestros productos, y minimizando el impacto de nuestras actividades en la sociedad y en el medioambiente durante la producción, almacenaje, transporte uso y elminación de nuestros productos.

IMPORTANTE: MIENTRAS QUE LAS DESCRIPCIONES, LOS DISEÑOS, LOS DATOS Y LA INFORMACIÓN CONTENIDA ADJUNTO SE PRESENTAN EN LA BUENA FE, SE CREEN QUE PARA SER EXACTOS, SE PROPORCIONA SU DIRECCIÓN SOLAMENTE. PORQUE MUCHOS FACTORES PUEDEN AFECTAR EL PROCESO O APLICACIONES EN USO, RECOMENDAMOS QUE USTED HAGA PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DE UN PRODUCTO PARA SU PROPÓSITO PARTICULAR ANTES DEL USO. NO SE HACE NINGUNA CLASE DE GARANTÍA, EXPRESADA O IMPLICADA, INCLUYENDO GARANTÍAS MERCANTILES O PARA APTITUD DE UN PROPÓSITO PARTICULAR, CON RESPECTO A LOS PRODUCTOS DESCRITOS O LOS DISEÑOS, LOS DATOS O INFORMACIÓN DISPUESTOS, O QUE LOS PRODUCTOS, LOS DISEÑOS, LOS

DATOS O LA INFORMACIÓN PUEDEN SER UTILIZADOS SIN LA INFRACCIÓN DE LOS DERECHOS DE OTROS. EN NINGÚN CASO LAS DESCRIPCIONES, INFORMACIÓN, LOS DATOS O LOS DISEÑOS PROPORCIONADOS SE CONSIDEREN UNA PARTE DE NUESTROS TÉRMINOS Y CONDICIONES DE LA VENTA. ADEMÁS, ENTIENDE Y CONVIENE QUE LAS DESCRIPCIONES, LOS DISEÑOS, LOS DATOS, Y LA INFORMACIÓN EQUIPADA POR NUESTRA COMPAÑIA ABAJO DESCRITOS ASUME NINGUNA OBLIGACIÓN O RESPONSABILIDAD POR LA DESCRIPCIÓN, LOS DISEÑOS, LOS DATOS E INFORMACIÓN DADOS O LOS RESULTADOS OBTENIDOS, TODOS LOS QUE SON DADOS Y ACEPTADOS EN SU RIESGO.

US / ES

Anexo 5.

Ficha de Seguridad para Fibra Metalica

HOJA DE SEGURIDAD: FIBRAS METALICAS LH35/0.7

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA Y LA COMPAÑIA

TOXEMENT

Bogotá, D.C., Calle 20 C No. 45A - 52 Int. 4
PBX: (1) 2088400 - FAX: (1) 368 68 87
www.toxement.com.co e-mail: atencionclientes@toxement.com.co
ASESORÍA TÉCNICA
MEDELLÍN: (574) 4660121 - CALI: (572) 5242325 - BARRANQUILLA: (575) 3796092 -
CARTAGENA: (575) 6535231 - BUCARAMANGA: (576) 6452604- COSTA RICA: (07)5068686429417- PANAMÁ: (507)3766158177-
ECUADOR: (07)300-9-8407845

NOMBRE COMERCIAL: FIBRAS METÁLICAS LH35/0.7	TELEFONOS DE EMERGENCIA:
NOMBRE QUIMICO: Alambre de acero galvanizado y no-galvanizado	CISTEMA: (ARL SURA): 018000511414 (24 horas) CRUZ ROJA: 132 ; BOMBEROS: 119

2. IDENTIFICACION DE PELIGROS

Visión general: Riesgo muy bajo en condiciones de uso normal	**SISTEMA GLOBALMENTE ARMONIZADO (SGA):**
Efectos adversos para la salud	ATENCIÓN TOXICIDAD AGUDA POR INGESTIÓN Categoría de peligro 5. H303. Puede ser nocivo en caso de ingestión P312. Llamar a un centro de toxicología o médico si la persona se encuentra mal. TOXICIDAD AGUDA POR INHALACIÓN Categoría 5. Atención. H333. Puede ser nocivo si se inhala P304+P312. En caso de inhalación llamar a un centro de toxicología o médico si la persona se encuentra mal. IRRITACIÓN CUTÁNEA Categoría 3. Atención. H316. Provoca una leve irritación cutánea P264. Lavarse cuidadosamente con agua después de la manipulación P280.Usar guantes de protección P332+P313. En caso de irritación cutánea consultar a un médico.
Ojos: Puede causar irritación.	
Piel: Puede ocurrir dermatitis por sensibilización en algunas personas por exposicion a humos de cromo.	
Inhalación	
Ingestión: Puede causar irritación en la boca y la garganta. Consultar a un médico.	

EFECTOS DE SOBREXPOSICIÓN POR COMPUESTO

En forma inerte, el alambre de acero no debe presentar efectos toxicos. Sin embargo, humos peligrosos o polvos pueden resultar durante el calentamiento, maternda, corte, soldadura u operaciones relacionadas. Las cubiertas no-metálicas en el alambre también deben ser consideradas en la sección "Información adicional o misceláneo". El efecto de sobreexposición a humos o polvos de alambre de acero galvanizado tendrá los siguientes efectos adversos de salud.

Hierro (Fe): Una condición benigna de pulmón conocida como siderosis puede resultar durante una larga exposición a humos o polvos de óxido de hierro. Óxido de hierro es el resultado del sometimiento de hierro y aleaciones a una temperatura alta en presencia de oxígeno como en una operación de soldadura.

Manganeso (Mn): La intoxicación por manganeso es usualmente debida a los óxidos o sales de Mn. El manganeso elemental exhibe una toxicidad muy baja. Los polvos y humos pueden actuar como irritantes menores a los ojos y al sistema respiratorio. Ambas exposiciones, agudas y crónicas, pueden afectar adversamente el sistema nervioso central, pero los síntomas es más probable que ocurran después de por lo menos uno o dos años de exposiciones prolongadas y repetidas. Los primeros síntomas incluyen debilidad en extremidades bajas, sueño, salivación, nerviosismo y apatía. En etapas más avanzadas, descoordinación muscular severa, dificultad al hablar, caminado espástico, expresión facial como la de una máscara, y risa incontrolable. Se reporta también que los humos de manganeso resultan en fiebre, un síndrome parecido a la gripa con síntomas como cansancio, escalofríos, fiebre, dolor de cabeza, y náuseas. Se ha reportado en neumonía, bronquitis y neumonitis. Estudios animales indican que la exposición a Mn puede incrementar la susceptibilidad a infecciones virales y bacterianas.

Cromo (Cr): La toxicidad y los peligros para la salud del cromo son altamente dependientes del estado de oxidación. Las formas elementales, trivalentes, y trivalentes son de muy poca toxicidad. La forma hexavalente (Se y como ocurre en cromatos y ácido crómico) es muy tóxica y puede producir tanto efectos agudos como crónicos. Los efectos adversos en la piel incluyen úlcera, dermatitis irritante y reacciones alérgicas de la piel. Los efectos adversos en el sistema respiratorio incluyen bronco espasmos, asmas, hipersecreción, bronquitis, irritación, reacciones asmáticas alérgicas, y ulceración y perforación del tabique nasal. Los síntomas respiratorios incluyen tos, respiración sibilante, dificultad al respirar, y picazón nasal. También se puede producir irritación e inflamación ocular. La exposición a compuestos hexavalentes de cromo también ha sido asociada con un riesgo incrementado de cáncer de pulmón.

Níquel (Ni): los humos y polvos de níquel son irritantes respiratorios y pueden causar neumonitis. El contacto del níquel y sus compuestos con la piel pueden causar dermatitis alérgica. Al sarpullido resultante se le denomina picazón de níquel. El níquel y sus compuestos pueden también producir irritación ocular, particularmente en las superficies internas (conjuntiva). Estudios en animales o epidemiológicos- se han relacionado con el níquel y sus compuestos, al tener una incidencia incrementada de cánceres en el pulmón y pasajes nasales.

Cobre (Cu): la inhalación de humos de cobre puede causar irritación a los ojos, a la nariz, a la garganta y una enfermedad llamada fiebre de humo de metal (metal fume fever). Los síntomas y señales de esta enfermedad incluyen fiebre, dolor de músculos, náuseas, resequedad de garganta, escalofríos, tos y debilidad. Los humos de Cu también pueden producir un sabor metálico o dulce en la boca. La repetida o prolongada exposición al humo de Cu puede causar decoloración de la piel y el pelo.

Zinc (Zn): El zinc sometido o aleaciones que contienen zinc a altas temperaturas en presencia de oxígeno (Se) como ocurre durante la soldadura) causarán la formación de óxido de zinc. La exposición a humos o polvos de óxido de zinc puede resultar en una enfermedad tipo gripa llamada fiebre de humo de metal. Los síntomas y señales de esta enfermedad incluyen resequedad e irritación de garganta, tos y un sabor metálico o dulce en la boca. Estos síntomas pueden progresar para dificultar respiración, aumentar dolores de cabeza, fiebre, escalofríos, vómito, náuseas, dolor de músculos, debilidad, fatiga y mucho sudor. El ataque puede durar de 4 a 48 horas y es más raro a ocurrir después de un periodo alejado del trabajo.

Silicona (Si): Puede producir cambios en los rayos X en los pulmones sin discapacidad.

Aluminio: evitar la respiración de polvo creado por cortes, lijado o afilado. Precaución: los compuestos son frágiles y se pueden romper con facilidad si se doblan, soltando fragmentos más pequeños. Usar protección ocular cuando se vaya a manejar el producto. Tener cuidado con los bordes filudos.

Asfalto: si se funde, enfriar con agua de inmediato. No tratar de pelar el material sólido de la piel ni usar solvente para disolverlo. El uso de aceite vegetal o aceite mineral es recomendado para retirar el material de la piel. Seguir los procedimientos estándar de primeros auxilios de incendios. Si se es sometido por el vapor, retirarse de la exposición y llamar de inmediato a un médico.

Condiciones médicas agravadas: enfermedades crónicas y desórdenes del sistema respiratorio.

Información de cancerígeno: la NTP y la IARC consideran al cromo y ciertos compuestos de cromo, como cancerígenos humanos.

EFECTOS POSIBLES RESIDUALES DEL PLOMO

La intoxicación por polvo debido a la inhalación puede resultar de una sobreexposición crónica con síntomas como anemia, insomnio, debilidad, estreñimiento, y desórdenes gastrointestinales. La ingestión puede causar náuseas y dolor abdominal. El plomo puede agravar enfermedades de la sangre, y órganos hematopoyéticos, riñones, nervios, y posibles sistemas reproductivos. Toxicidad crónica resulta en una lesión potencial en fetos desarrollándose y efectos positivos en la reproducción. Otras condiciones pueden incluir depresión en la actividad de formación de sangre, deficiencias en los riñones o cambios en el sistema nervioso.

3. INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

MATERIAL	PORCENTAJE %	NUMERO CAS
Hierro	Balance	7439-89-6
Carbón	0-0.85	7440-44-0
Cromo	0-0.10	7440-47-3
Cobre	0-0.30	7440-50-8
Manganeso	0-1.00	7439-96-5
Níquel	0-0.10	7440-02-0
Silicona	0-0.20	7440-21-3
Micro elementos	0-0.10	(Pb, Al, Mo, Zn)
Cubiertas de superficie		
Zinc	0-96.0	7440-66-6
Aluminio	0-7.0	7439-90-5
Plomo	0-0.1	7439-92-1
Sales de boro	0-0.2	1303-96-4
Estearatos	0-0.2	N/A
Hidroxido de calcio	0-0.2	1305-62-0
Oxido de Zinc	0-0.1	1314-13-2
Dist. Petróleo	0-0.5	8002-05-9
Dist. Parafínico	0-0.5	64742-65-0
Asfalto	0-1.0	8052-42-4
Micro elementos	0-0.05	(Cd, La)

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Retirarse de niveles altos de exposicion a menos de que se tenga proteccion respiratoria apropiada.
Ojos: lavar con agua en caso de irritación.
Piel: Lavar con agua y jabón en caso de irritación.
Ingestión: En caso de irritación de garganta o boca consultar inmediatamente al médico.
Notas para el médico: Revisar sección de efectos crónicos por componente.

Todo accidente de trabajo debe reportarse a la ARL.

5. MEDIDAS EN CASO DE INCENDIO

Temperatura de inflamación
No aplica

Limites de Inflamabilidad:
LEL: No aplica UEL: No aplica

RIESGOS DURANTE INCENDIO
Evitar respirar humos de óxido de metal que puedan causar fiebre de humo metálico.

AGENTE DE EXTINCION:
No usar agua en metales fundidos; usar extintor de polvo seco.

PRODECIMIENTOS ESPECIALES PARA COMBATIR EL FUEGO
Use los elementos de protección personal contra fuego.

PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN PELIGROSOS:
Cuando se calienta más allá del punto de fusión, el vapor de metálico se quema en el aire con una llama brillante grisosa-amarilla para producir humos de óxido de zinc.

SISTEMA DE IDENTIFICACION NFPA

Salud: 1
Inflamabilidad: 0
Inestabilidad: 0



Riesgo especial: Ninguno

6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Pasos a seguir en caso que el material es liberado o derramado: Barrer.
Método de disposición de residuos: Cualquier exceso de producto puede ser reciclado para un uso futuro, dispuesto en un vertedero permitido para residuos peligrosos, o dispuesto por algún método de acuerdo con regulaciones estatales, locales y federales.

7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

La chispa o el arco generado cuando se solda con estos productos puede ser una fuente de ignición para materiales combustibles o inflamables. Los acabados de los cortes pueden resultar en un peligro de laceración o perforación.
PRECAUCIÓN: Los empaques de este material pueden contener energía mecánica almacenada y tensiones internas. Usar prácticas estándar industriales para su manejo, apertura y corte.

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

PRODUCTO	OSHA (TWA-STEL) PEL	ACGIH (TWA-STEL)	NIOSH -REL
Hierro	10 mg/m³	5 mg/m³	No disponible
Carbón	N/A	3.5 mg/m³ (como carbón negro)	No disponible
Cromo	0.1 mg/m³	0.05 mg/m³	No disponible
Cobre	0.1mg/m³	0.2 mg/m³	No disponible
Manganeso	5 mg/m³	1 mg/m³	No disponible
Níquel	1 mg/m³	1 mg/m³	No disponible
Silicona	10 mg/m³	10 mg/m³ (como polvo)	No disponible
Micro elementos	N/A	N/A	No disponible
Cubiertas de superficie			
Zinc	5 mg/m³	5 mg/m³	No disponible
Aluminio	5 mg/m³	5 mg/m³	No disponible
Plomo	N/A	0.015 mg/m³	No disponible
Sales de boro	N/A	1 mg/m³	No disponible
Estearatos	N/A	10 mg/m³	No disponible
Hidroxido de calcio	N/A	10 mg/m³	No disponible
Oxido de Zinc	N/A	10 mg/m³	No disponible
Dist. Petroleo	N/A	5 mg/m³	No disponible
Dist. Parafínico	N/A	5 mg/m³	No disponible
Asfalto	N/A	N/A	No disponible
Micro elementos	N/A	N/A	No disponible

PROTECCIÓN RESPIRATORIA: Se debe usar respirador NIOSH de humo o polvo aprobado si los límites aplicables se exceden.

PROTECCIÓN OJOS Y ROSTRO
Usar careta (mínimo de 8") y/o gafas de seguridad cuando se esté soldando, calentando, cortando o afilando.

PROTECCION PIEL:
Usar equipo de protección adecuado, como delantal de soldadura, cascos y guantes, cuando se esté soldando o calentando.

MEDIDAS ESPECIALES: La ventilación debe ser suficiente para mantener los niveles de exposición debajo de los límites de exposición aplicables.

9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

APARIENCIA	Sólido, metálico	PUNTO DE EBULLICIÓN	No aplica
COLOR	Gris	DENSIDAD DEL VAPOR (aire=1)	No aplica
OLOR	Inodoro	PRESIÓN DE VAPOR	No aplica
DENSIDAD	No aplica	SOLUBILIDAD EN AGUA	Insignificante
pH	No aplica	OTRA SOLUBILIDAD	No aplica
PUNTO DE FUSIÓN	2800°F/1774°F		

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

CONDICIONES CAUSANTES DE INESTABILIDAD:
El material es estable.
INCOMPATIBILIDAD (MATERIALES A EVITAR):
Ácidos. El peróxidode hidrógeno reaccionará violentamente al contacto con el plomo. (El agua reacciona violentamente con materiales fundidos).
PRODUCTOS PELIGROSOS DE DESCOMPOSICION:
Humos y ciertos gases nocivos, como CO, se pueden producir por soldadura u operaciones de calentamiento. Humos de óxido de plomo pueden resultar si las temperaturas exceden el punto de fusión del plomo, 1774°F.

SENSIBILIDAD ESPECIAL:
Ninguna

11. INFORMACION TOXICOLÓGICA

DL_{50} (oral, rata): No disponible
DL_{50} (piel, conejo): No disponible
CL_{50} (inhalación, rata): No disponible
Toxicidad aguda: No disponible
Efectos Locales: No disponible

12. INFORMACION ECOLÓGICA

Ecotoxicidad	No disponible
Persistencia/ Degradabilidad	No disponible
Bioacumulación/ Acumulación	No disponible
Movilidad en el Medio Ambiente	No disponible
Otros efectos adversos	No disponible

13. CONSIDERACIONES PARA DISPOSICIÓN FINAL DE LA SUSTANCIA

Disponer como residuo peligroso según las regulaciones estatales aplicables

14. INFORMACION SOBRE EL TRANSPORTE

Clase o división: No aplica	No regulado para transporte según la ONU	**RÓTULO PARA TRANSPORTE (ONU):** No regulado para transporte según la ONU
Número UN	No regulado para transporte según la ONU	
Nombre y Descripción	No regulado para transporte según la ONU	
Grupo de Embalaje (ONU)	No regulado para transporte según la ONU	

15. INFORMACION REGLAMENTARIA

Reglamentación Nacional

-Decreto 1609 de 2002. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera. Además, aplica toda la legislación colombiana sobre medio ambiente y seguridad industrial.

-Decreto 4741 de 2005. por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

-Ley 769/2002. Código Nacional de Tránsito Terrestre. Artículo 32: la carga de un vehículo debe estar debidamente empacada, rotulada, embalada y cubierta, conforme a la normatividad técnica nacional.

-Los residuos de esta sustancia están considerados en: Ministerio de Salud. Resolución 2309 de 1986; por la cual se hace necesario dictar normas especiales complementarias para la cumplida ejecución de las leyes que regulan los residuos sólidos y concretamente lo referente a residuos especiales.

-Resolución 189 de 1994, por el cual se dictan regulaciones para impedir la introducción al territorio nacional de residuos peligrosos.

-Ministerio de Defensa Nacional. Resolución 1875 de 1979. Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino. En ningún momento puede verterse esta sustancia al mar.

Ley 55 de 1993. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Seguridad en la utilización de productos químicos en el trabajo.

Este producto no esta regulado por la Dirección nacional de Estupefacientes u otras similares.

La información aquí contenida NO constituye normatividad legal. Corresponde estrictamente a información y recomendaciones técnicas.

16. INFORMACION ADICIONAL

ABREVIATURAS

-ACGIH: Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (Estados Unidos).

-CAS (Chemical Abstract Service): entidad que organiza la información publicada en el Chemical Abstracts por la Sociedad Química Americana.

-CL50: (Concentración Letal): concentración de un material en el aire que causa la muerte del 50 por ciento de un grupo de animales utilizados en prueba de laboratorio en el cual el material es inhalado durante un tiempo determinado, generalmente de unas cuatro horas.

-CE50: concentración que produce un 50% de efecto en los organismos de ensayo.

-DL50: (Dosis Letal): es la cantidad en gramos, miligramos, litros o mililitros por kilogramo de cuerpo que, una vez suministrada, causal la muerte del 50 por ciento de un grupo de animales utilizados en una prueba de laboratorio. La DL50 ayuda a determinar, en corto plazo, el potencial de toxicidad de un material.

NFPA: Asociación Nacional de Protección contra Incendios (Estados Unidos).

STEL: (Short Time Exposure Limit): valor límite de concentración permisible. En tiempo corto de exposición o la máxima concentración para una exposición continua en un periodo de 15 minutos (con un máximo de 4 de tales Periodos por día, con al menos 60 minutos entre periodos de exposición a condición que el valor diario de TLV-TWA no sea excedido.

TWA: Valor Umbral Límite (Time Weight Average): valor permisible promedio, ponderado en el tiempo para un trabajo normal de ocho horas diarias o 40 horas semanales.

UN: Naciones Unidas

BIBLIOGRAFIA

Naciones Unidas. Recomendaciones Relativas al Trarreporte de Mercancías Peligrosas, 14va. Revisión. ONU, 2005.
ACGIH. TLV´s and BEI´s for Chemical substances and Physical Agents. ACGIH, 2007.
Forsberg and Mansdorf. Selection Guide to Chemical Protective Clothing. Edicion 3. 1997.
CANUTEC Guia de Respuesta en Caso de Emergencia 2012. Edición Colombia
NTC 1692. Transporte de mercancías peligrosos definiciones, clasificación, marcado, etiquetado y rotulado.
Decreto 1609 de 2002. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.
NTC 4435 Transporte de Mecrancias, Hojas de seguridad de materiales.
NTC 4532 Transporte de mercancías peligrosas. Tarjeta de Emergencia para el transporte.

PREPARADO POR: DEPARTAMENTO TECNICO	**FECHA:** ENERO DE 2014
TELÉFONO: BOGOTÁ (1) 2068600	**REEMPLAZA HOJA DE FECHA:** PRIMERA VERSIÓN

La información aquí contenida está basada en datos considerados como reales. Sin embargo, la garantía del producto no se expresa en función de los datos o resultados expresados aquí, el vendedor no asume la responsabilidad por lesiones a terceras personas causadas por el material si los procedimientos de seguridad no son aceptables y no se cumplieron según lo estipulado en esta hoja de seguridad. Adicionalmente el vendedor no asume la responsabilidad por lesiones a terceras personas causadas por el uso constante y anormal aún si los procedimientos de seguridad son los indicados, además el comprador asume el riesgo en el uso del material.

Anexo 6.

Ficha de Seguridad para Fibra Sintetica

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (MSDS)

BUILDING TRUST

Sikafiber AD

SECCION 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificación del producto

Nombre del producto: Sikafiber AD
Código: 000000610382

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Uso del producto:

- ✓ Fibra de polipropileno para el refuerzo de concreto y mortero.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Fabricante/ Distribuidor: Sika Colombia S.A.S.
Vereda Canavita km 20.5 Autopista Norte
Tocancipá, Cundinamarca
Colombia
col.sika.com
Número de Teléfono: (+571) 878 – 6333
Número de Fax: (+571) 878 – 6666
Dirección de email de la persona responsable de esta FDS: controlcalidad.lab@co.sika.com

1.4 En caso de emergencia: CISPROQUIM
Bogotá: 2886012 / 2886355
Resto del país: 01 8000 916012

SECCION 2: Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla
Clasificación SGA
No es una sustancia o mezcla peligrosa.

2.2 Elementos de etiquetado GHS
No es una sustancia o mezcla peligrosa.

2.3 Otros peligros:
Ninguno conocido

SECCION 3: Composición /información sobre los componentes

Sustancia/preparado: Mezcla
Familia química/: Fibras de polipropileno con aditivos superplastificantes.

No hay ningún ingrediente adicional presente que, bajo el conocimiento actual del proveedor y en las concentraciones aplicables, sea clasificado como de riesgo para la salud o el medio ambiente, como PBT o mPmB o tenga asignado un límite de exposición laboral y por lo tanto deban ser reportados en esta sección.

SECCION 4: Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales:	Sin peligros que requieran medidas especiales de primeros auxilios.
Si es inhalado:	Trasladarse a un espacio abierto.
En caso de contacto con la piel:	Retirar inmediatamente la ropa y zapatos contaminados. Eliminar lavando con jabón y mucha agua.
En caso de contacto con los ojos:	Lavarse abundantemente los ojos con agua como medida de precaución. Retirar las lentillas. Manténgase el ojo bien abierto mientras se lava.
Por ingestión:	Lavar la boca con agua y después beber agua abundante. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente.
Principales síntomas y efectos, agudos y retardados:	No se conocen efectos significativos o riesgos. Ver la Sección 11 para obtener información detallada sobre la salud y los síntomas.
Notas para el médico:	Tratar sintomáticamente.

SECCION 5: Medidas de lucha contra incendios

Características inflamables

Punto de inflamación:	No aplicable.
Medios de extinción apropiados:	Usar medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias del local y a sus alrededores.
Productos de combustión peligrosos:	No se conocen productos de combustión peligrosos
Métodos específicos de extinción:	Procedimiento estándar para fuegos químicos.
Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios:	En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.

SECCION 6: Medidas en caso de vertido accidental

Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia:	Utilícese equipo de protección individual. Negar el acceso a personas sin protección.
Precauciones relativas al medio ambiente:	Intentar evitar que el material penetre en los desagües o en las tuberías.
Métodos y material de con-tención y de limpieza:	Recoger con un producto absorbente inerte (por ejemplo, arena, diatomita, fijador de ácidos, fijador universal, serrín). Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

SECCIÓN 7: Manipulación y almacenamiento

Indicaciones para la protección contra incendio y explosión:	Disposiciones normales de protección preventivas de incendio.
Consejos para una manipulación segura:	Evitar sobrepasar los límites dados de exposición profesional (ver sección 8). Equipo de protección individual, ver sección 8. No fumar, no comer ni beber durante el trabajo. Cuando se manejen productos químicos, siga las medidas estándar de higiene.
Condiciones para el almacenaje seguro:	Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas. Almacenar de acuerdo con la reglamentación local.

SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual

La información recogida en esta sección contiene consejos e indicaciones generales. La información que se proporciona está basada en los usos habituales anticipados para el producto. Puede ser necesario tomar medidas adicionales para su manipulación a granel u otros usos que pudieran aumentar de manera significativa la exposición de los trabajadores o la liberación al medio ambiente.

Protección personal

Protección respiratoria:	Utilizar protección respiratoria a menos que exista una ventilación de escape adecuada o a menos que la evaluación de la exposición indique que el nivel de exposición está dentro de las pautas recomendadas.
Protección de las manos:	Guantes químico-resistentes e impermeables que cumplan con estándares aprobados deben ser utilizados cuando se manejen productos químicos y la evaluación del riesgo indica que es necesario.
Protección de los ojos:	Equipo de protección ocular que cumpla con estándares aprobados debe ser utilizado cuando la evaluación del riesgo indica que es necesario.
Protección de la piel y del cuerpo:	Elegir la protección para el cuerpo según sus características, la concentración y la cantidad de sustancias peligrosas, y el lugar específico de trabajo.
Medidas de higiene:	Manipular con las precauciones de higiene industrial adecua-das, y respetar las prácticas de seguridad. No comer ni beber durante su utilización. No fumar durante su utilización. Lávense las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.

SECCIÓN 9: Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto	
Estado físico:	Polvo y Fibras
Color:	Café
Olor:	Suave
Umbral olfativo:	No disponible
pH:	No aplicable
Punto de fusión/punto de	

Congelación:	No aplicable
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición:	No aplicable
Punto de inflamación:	No aplicable
Tasa de evaporación	No disponible
Inflamabilidad (sólido, gas):	No disponible
Tiempo de Combustión:	No aplicable
Velocidad de Combustión:	No aplicable
Límites superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad:	No aplicable
Presión de vapor:	No disponible
Densidad de vapor:	No disponible
Gravedad específica:	0.91 g/cm³ ± 0.03 g/cm³ (20°C)
Densidad relativa:	No disponible
Solubilidad(es):	El producto no es soluble en agua
Coeficiente de reparto noctanol/agua:	No disponible
Temperatura de autoinflamación:	No disponible
Temperatura de descomposición:	No disponible
Viscosidad:	No aplicable
Propiedades explosivas:	No disponible
Propiedades comburentes:	No disponible

9.2 Información adicional
Ninguna información adicional

SECCIÓN 10: Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad:	Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.
10.2 Estabilidad química:	El producto es estable.
10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas:	En condiciones normales de almacenamiento y uso, no se producen reacciones peligrosas.
10.4 Condiciones que deben evitarse:	Ningún dato específico.
10.5 Materiales incompatibles:	Ningún dato específico
10.6 Productos de descomposición peligrosos:	En condiciones normales de almacenamiento y uso, no se deberían formar productos de descomposición peligrosos.

SECCIÓN 11: Información toxicológica

11.1 Toxicidad aguda:
No disponible

SECCIÓN 12: Información Ecológica

Ecotoxicidad
Sin datos disponibles

Sikafiber AD

Persistencia y degradabilidad
Sin datos disponibles

Potencial de bioacumulación
Sin datos disponibles

Movilidad en el suelo
Sin datos disponibles

Otros efectos adversos
Producto:
Información ecológica complementaria: No existe ningún dato disponible para ese producto.

SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos
Producto
Métodos de eliminación: Evitar o minimizar la generación de residuos cuando sea posible.
La eliminación de este producto, sus soluciones y cualquier derivado deben cumplir siempre con los requisitos de la legislación de protección del medio ambiente y eliminación de desechos y todos los requisitos de las autoridades locales.
Desechar los sobrantes y productos no reciclables por medio de un contratista autorizado a su eliminación.
El producto endurecido se trata como material de desecho y se puede disponer como escombro.

Empaquetado: Envases/embalajes totalmente vacíos pueden destinarse a reciclaje. Envases/ embalajes que no pueden ser limpiados deben ser eliminados de la misma forma que la sustancia contenida.

SECCIÓN 14: Información relativa al transporte

	ADR/RID-ADN	IMDG	IATA
14.1 Número ONU	No regulado.	No regulado.	No regulado.
14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas			
14.3 Clase(s) de peligro para el transporte	-	-	-
14.4 Grupo de embalaje	-	-	-
14.5 Peligros para el medio ambiente	**No**	**No**	**No**
14.6 Información adicional	-	-	-

14.7 Transporte a granel: No disponible
con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC

Sikafiber AD

SECCIÓN 15: Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicos para la sustancia o la mezcla
Reglamento de la UE (CE) nº. 1907/2006 (REACH)
Anexo XIV - Lista de sustancias sujetas a autorización
Ninguno de los componentes está listado.
Sustancias altamente preocupantes
Ninguno de los componentes está listado.

Contenido de COV (EU): VOC (w/w): 0%

Peligros OSHA
No Aplica

Legislación nacional
NTC 1692:1998, Transporte de mercancías peligrosas. Clasificación, etiquetado y rotulado.
Norma técnica NTC-ISO 5500 gestión del transporte de carga terrestre.
Ley 55 del 2 de julio de 1993, Convenio número 170 y la Recomendación número 177 sobre la Seguridad en la Utilización de los Productos Químicos en el Trabajo.
Decreto 1609 de 2002 Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.

Clase de almacenamiento:
NTC 3972:1996, Transporte de mercancías peligrosas clase 9. Sustancias peligrosas varias. Transporte terrestre por carretera. Requisitos generales para el transporte. Segregación.

15.2 Evaluación de la seguridad química
No hay datos disponibles

SECCIÓN 16: Otra Información

Indica la información que ha cambiado desde la edición de la versión anterior.

Abreviaturas y acrónimos:
ETA = Estimación de Toxicidad Aguda
CLP = Reglamento sobre Clasificación, Etiquetado y Envasado [Reglamento (CE) No 1272/2008]
DNEL = Nivel sin efecto derivado
Indicación EUH = Indicación de Peligro específica del CLP
PNEC = Concentración Prevista Sin Efecto
RRN = Número de Registro REACH
R52/53- Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Aviso al lector
La información contenida en esta ficha de datos de seguridad corresponde a nuestro nivel de conocimiento en el momento de su publicación. Quedan excluidas todas las garantías. Se aplicaran nuestras condiciones generales de venta en vigor. Por favor, consulte la Hoja de Datos del Producto antes de su uso y procesamiento.

Anexo 7.

Ficha de Seguridad para Master Glenium

MASTER® BUILDERS SOLUTIONS

MasterGlenium SCC 3800

Aditivo reductor de agua de alto rango para concreto

CONSIDERACIONES

Temperatura:
MasterGlenium SCC 3800 debe almacenarse a temperaturas superiores a los 5°C (40°F). Si MasterGlenium SCC 3800 llega a congelarse, descongele y reconstituya por agitación mecánica.

DATOS TECNICOS

Aspecto:	Líquido
Color:	Marrón
Densidad:	1,05 g/cm3
pH:	Min 3.0

ALMACENAMIENTO

MasterGlenium SCC 3800 tiene una vida útil mínima de 12 meses, la misma que puede prolongarse dependiendo de las condiciones de almacenamiento. En todos los casos el producto deberá ser homogenizado antes de ser usado.

PRESENTACIÓN

MasterGlenium SCC 3800 se suministra en tambores de 208 L, tanques de 1000 L y a granel.

SEGURIDAD

Lea, entienda y siga la información contenida en la Hoja Datos de Seguridad (SDS) y de la etiqueta del producto antes de usar. La SDS puede obtenerse solicitando a su representante de ventas de Master® Builders Solutions.

Master® Builders Solutions es una marca registrada por las compañías de MBCC Group en diferentes países del mundo

MASTER® BUILDERS SOLUTIONS

MasterGlenium SCC 3800

Aditivo reductor de agua de alto rango para concreto

DESCRIPCIÓN

MasterGlenium SCC 3800 es un aditivo reductor de agua de alto rango listo para usarse, pertenece a una nueva generación de aditivos patentados basados en la tecnología del policarboxilato. Esta tecnología combina un diseño molecular de vanguardia para lograr un valor excepcional y preciso en todas las fases del proceso de construcción del concreto.
El aditivo MasterGlenium SCC 3800 es muy efectivo en la producción de mezclas de concreto con diferentes niveles de manejabilidad incluyendo aplicaciones que requieran el uso de concreto auto compactante (SCC). El uso del aditivo MasterGlenium SCC 3800 proporciona características de fraguado más rápidas como, asimismo mejora la resistencia a la compresión inicial.
MasterGlenium SCC 3800 cumple con los requisitos de la norma provisional ASTM C494 /C494 M para aditivos Tipo A, (reductores de agua), y tipo F (reductores de agua de alto rango).

USOS RECOMENDADOS

- Concreto que requiera una reducción de agua de 5 a 40%.
- Aplicaciones donde el control de manejabilidad y tiempos de fraguado sea crítico.
- Concretos que requieren una fluidez elevada, mayor estabilidad, alta resistencia inicial y final y durabilidad (prefabricados, reparaciones de pavimentos de fast-track).
- Fabricación de mezclas de concreto Rheodinámico y auto compactante (SCC).

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- Excelente desarrollo de resistencia inicial.
- Adecuado control de fraguado.
- Optimiza la relación de retención de asentamiento / fraguado.
- Mantiene el aire incorporado consistente.
- Flexibilidad en la dosificación.
- Menor contenido de agua para una determinada manejabilidad.
- Reología controlada.
- Desarrollo de resistencias iniciales altas.
- Produce concretos cohesivos y sin segregación.
- Incrementa la productividad de las operaciones de prefabricados.
- Desencofrado más rápido debido al desarrollo acelerado de resistencia temprana.
- Reduce costos de mano de obra en acabado debido a la optimización de los tiempos de fraguado.
- Minimiza la necesidad de ajuste de asentamiento en la obra.
- Disminución del concreto rechazado.
- Optimiza el costo de las mezclas de concreto.

RECOMENDACIONES DE USO

Datos de la mezcla:

El concreto producido con el aditivo MasterGlenium SCC 3800 alcanza significativamente mayor resistencia en edad temprana que los aditivos reductores de agua de alto rango base policarboxilatos de la primera generación.
MasterGlenium SCC 3800 también permite la obtención de un equilibrio perfecto entre retención de manejabilidad y ciertas características de fraguado que proporcionan la eficiencia en la colocación y acabado del concreto.

Dosificación:

La dosis que se recomienda usar de MasterGlenium SCC 3800 está en el rango de 800 a 1500 ml/100 kg de cementante. Es posible que sea necesario cambiar la dosificación debido a las variaciones en los materiales de concreto y de las condiciones y/o aplicaciones en la obra. En tales casos, contacte a su representante técnico.

Mezclado:

El aditivo MasterGlenium SCC 3800, deben adicionarse luego de la tanda inicial de agua y de otros aditivos, de ser el caso.

A brand of MBCC GROUP

Anexo 8.

Ficha de Seguridad para Sigunit (Acelerante)

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sigunit® AFA

Versión	Fecha de revisión:	Número de HDS:	Fecha de la última revisión: -
0.0	2018/03/05	100000014150	Fecha de la primera emisión: 2018/03/05

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO QUÍMICO Y DE LA EMPRESA

Nombre del producto : Sigunit® AFA

Tipo de producto : líquido

Uso recomendado del producto químico y restricciones de uso

Uso del producto : Acelerante de fraguado líquido.
Restricciones de uso : Utilizar en ambientes ventilados y con equipo de protección personal.

Informaciones sobre el fabricante o el proveedor

Compañía : Sika S.A. Chile
Av. Pdte. Salvador Allende 85
8941077 Santiago de Chile
Chile

Teléfono : +56 2 2510 6510

Dirección de correo electrónico : ehs@cl.sika.com

Teléfono de emergencia : Intoxicaciones, CITUC: + 56 2 2635 3800
Emergencias Químicas, CITUC-QUIMICO: +56 2 2247 3800

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Clasificación según NCh382 : No regulado. Sustancia no peligrosa.

Distintivo según NCh 2190 : No regulado. Sustancia no peligrosa.

Señal de seguridad según NCh 1411/4 : Salud : 1 (color azul)
Inflamabilidad : 0 (color rojo)
Reactividad : 0 (color amarillo)



Clasificación según SGA (GHS)

Lesiones oculares graves/irritación ocular : Categoría 1

Etiqueta SGA (GHS)

Pictogramas de peligro :



Palabra de advertencia : Atención

Indicaciones de peligro : H318 Provoca lesiones oculares graves.

Descripción de peligros : No se conocen peligros asociados.
Descripción de peligros específicos. : No se conocen peligros especificos asociados con el uso correspondiente de EPP.
Otros peligros : Evitar contaminación en cursos de agua.

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Tipo de producto : Mezcla

Componentes

Nombre químico sistémico	Nombre genérico	CAS No.	Concentración (%p/p)
sulfato de aluminio	sulfato de aluminio	10043-01-3	>= 30 - < 50

4. PRIMEROS AUXILIOS

Consejos generales : Retire a la persona de la zona peligrosa.
Consulte a un médico.
Muéstrele esta hoja de seguridad al doctor que esté de servicio.

En caso de inhalación : Salga al aire libre.
Consultar a un médico después de una exposición importante.

En caso de contacto con la piel : Quítese inmediatamente la ropa y zapatos contaminados.
Elimínelo lavando con jabón y abundante agua.
Si persisten los síntomas, llame a un médico.

En caso de contacto con los ojos : Incluso pequeñas salpicaduras en los ojos pueden causar daños irreversibles en los tejidos y ceguera.
En caso de contacto con los ojos, lávelos inmediata y abundantemente con agua y acuda a un médico.
Continúe lavando los ojos en el trayecto al hospital.
Quítese los lentes de contacto.
Manténgase el ojo bien abierto mientras se lava.

En caso de ingestión : Lávese la boca con agua y después beba agua abundante.
No dé leche ni bebidas alcohólicas.
Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente.

Síntomas y efectos más importante, agudos y retardados	:	No se conocen efectos significativos o riesgos. Lacrimación excesiva (vea la Sección 11 para obtener información detallada sobre la salud y los síntomas). Provoca lesiones oculares graves.
Notas especiales para un médico tratante	:	Trate sintomáticamente.

5. MEDIDAS PARA LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción adecuados	:	Use medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias locales y de sus alrededores.
Agentes de extinción inapropiados	:	Ninguno.
Productos de combustión peligrosos y degradación térmica	:	Vapores de azufre.
Peligros específicos asociados	:	No se conocen peligros específicos asociados.
Métodos específicos de extinción	:	Procedimiento estándar para incendios químicos.
Equipo de protección especial para los bomberos	:	En caso de incendio, utilice un equipo respiratorio autónomo.

6. MEDIDAS QUE SE DEBEN TOMAR EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

Precauciones personales	:	Utilice equipo de protección personal.
Equipos de protección	:	Usar vestimenta impermeable, así como también guantes, antiparras, zapatos de seguridad.
Procedimientos de emergencia	:	Señalizar la zona afectada y prohibir el acceso de personas ajenas en el lugar del derrame. Eliminar toda fuente de ignición y material inflamable. No tocar ni caminar sobre el material derramado. Mantener alejado al personal no autorizado. Evitar que el producto contamine cauces de aguas naturales o artificiales, como canalizaciones, desagües o pozos, haciendo un dique con material absorbente no inflamable como arena o arcilla.
Precauciones ambientales	:	No lo vierta en el agua superficial o el sistema de alcantarillado sanitario. Si el producto contamina los ríos, lagos o alcantarillados, informar a las autoridades respectivas.
Métodos y materiales de contención, confinamiento y/o abatimiento	:	Derrame Seco Pequeño: Con una pala limpia, colocar el material en un contenedor limpio y seco y cubrir holgadamente; quitar los contenedores del área del derrame.

Derrame Grande: Considere la evacuación inicial a favor del viento de por lo menos 50 metros. No tocar los contenedores dañados o el material derramado, a menos que esté usando la ropa de protección personal. Detenga la fuga, en caso de poder hacerlo sin riesgo. Prevenga la entrada hacia vías navegables, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas. Cubra con una hoja de plástico para prevenir su propagación. Absorber con tierra seca, arena u otro material absorbente no combustible y transferirlo a contenedores.

Métodos y materiales de limpieza

- Recuperación : Se recomienda utilizar la totalidad del contenido del envase.
- Neutralización : El producto se puede neutralizar al mezclarlo con cemento. De lo cual resulta un residuo no peligroso, el cual se debe disponer en un recinto autorizado.
- Disposición final : Los desechos que resulten de la utilización de este producto, incluyendo el envase, y el producto no neutralizado, deben ser eliminados en una instalación aprobada por la autoridad sanitaria y ambiental y/o incinerados en una instalación autorizada para ello.

Medidas adicionales de prevención de desastres : Evitar fuentes de ignición durante la aplicación del producto. Personal que toma contacto directo con el producto debe contar con Hoja de Datos de Seguridad para manipulación adecuada.

7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

Manipulación

Precauciones para la manipulación segura : Evitar la ingestión, inhalación y contacto con la piel, nunca manipular sin contar con los elementos de seguridad mínimos. Manipulación del producto sólo por personas adultas y entrenadas en su manejo. Las personas que hayan tenido problemas de sensibilización de la piel, asma, alergias, enfermedades respiratorias crónicas o recurrentes, no deben ser empleadas en ninguna parte del proceso en la cual esté utilizada esta preparación.

Medidas operacionales técnicas : Durante la manipulación, usar delantal impermeable, máscara con filtro, guantes impermeables, botas de goma y antiparras. Durante la aplicación, usar de protección, traje impermeable, máscara con filtro, antiparras, botas y guantes de goma.

Otras precauciones : No aplicar contra el viento y una vez terminada la aplicación cámbiese toda la ropa y lávese con abundante agua y jabón. No comer, beber o fumar durante la manipulación y aplicación del producto.
Las mujeres embarazadas o en edad de concebir no deben exponerse a este producto.

Prevención del contacto : Manipulación, usar delantal impermeable, máscara con filtro, guantes impermeables, botas de goma y antiparras.
Aplicación, usar de protección, traje impermeable, máscara con filtro, antiparras, botas y guantes de goma.

Almacenamiento

Condiciones para el almacenamiento seguro	:	Conservar el producto en una bodega con llave, seca, fresca y ventilada, en su envase original, bien cerrado y provisto con su etiqueta. Los contenedores que se abren deben ser cuidadosamente resellados y mantenerlos en posición vertical para evitar fugas.
Medidas técnicas	:	Salvo las indicaciones ya especificadas no es preciso realizar ninguna recomendación especial en cuanto a los usos de este producto.
Sustancias y mezclas incompatibles	:	Mezcla con bases fuertes.
Material de envase y/o embalaje	:	Envase de polietileno de alta densidad (PEAD).

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

Componentes con parámetros de control en el área de trabajo

No contiene sustancias con valores límite de exposición laboral.

Protección personal

Protección respiratoria	:	La selección del respirador se debe basar en el conocimiento previo de los niveles, los riesgos de producto y los límites de trabajo de seguridad del respirador seleccionado. filtro de vapor orgánico (Tipo A) A1: < 1000 ppm; A2: < 5000 ppm; A3: < 10000 ppm Asegurar una ventilación adecuada. Esto se puede conseguir por extracción de escape local o por ventilación general. (EN 689 - Métodos para la determinación de la exposición por inhalación). Esto se aplica en particular a la mezcla / zona de agitación. En caso de que esto no fuera suficiente para mantener las concentraciones dentro de los límites de exposición profesional deberán utilizarse medidas de protección de la respiración.
Protección de las manos	:	Guantes químico-resistentes e impermeables que cumplan con estándares aprobados deben ser utilizados cuando se manejen productos químicos y la evaluación del riesgo indica que es necesario. Adecuados para periodos cortos o para protección contra salpicaduras: Guantes de goma de butilo/nitrilo (0,4 mm), desechar los guantes contaminados. Adecuados para exposición permanente: Guantes Vitón (0,4mm), tiempo de detección >30 min.
Protección de los ojos	:	Equipo de protección ocular que cumpla con estándares aprobados debe ser utilizado cuando la evaluación del riesgo indica que es necesario.
Protección de la piel y del cuerpo	:	Elegir la protección para el cuerpo según sus características, la concentración y la cantidad de sustancias peligrosas, y el lugar específico de trabajo.

Medidas de higiene	:	Manipúlelo con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respete las prácticas de seguridad. No coma, beba, ni fume durante su utilización. Lavarse las manos antes de los descansos y después de terminar la jornada laboral.
Medidas de ingeniería	:	Proveer escape local o sistema de ventilación del recinto durante su almacenamiento.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto	:	líquido
Color	:	ámbar
Olor	:	característico
Umbral de olor	:	Sin datos disponibles
pH	:	aprox. 3,8, (20 °C (20 °C))
Punto de fusión/rango / Punto de congelación	:	Sin datos disponibles
Punto / intervalo de ebullición	:	Sin datos disponibles
Punto de inflamación	:	No aplicable
Índice de evaporación	:	Sin datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas)	:	No aplicable
Límite superior de explosividad	:	Sin datos disponibles
Límite inferior de explosividad	:	Sin datos disponibles
Presión de vapor	:	23 hPa (23 hPa)
Densidad relativa de vapor	:	Sin datos disponibles
Densidad	:	aprox. 1,33 g/cm3 (20 °C (20 °C) ())
Solubilidad		
Hidrosolubilidad	:	Sin datos disponibles
Solubilidad en otros disolventes	:	Sin datos disponibles
Coeficiente de partición: (n-octanol/agua)	:	Sin datos disponibles

Temperatura de auto-inflamación	:	Sin datos disponibles
Temperatura de descomposición	:	Sin datos disponibles
Viscosidad, dinámica	:	Sin datos disponibles
Viscosidad, dinámica	:	Sin datos disponibles
Propiedades explosivas	:	No explosivo
Peso molecular	:	Sin datos disponibles
COV	:	0 g/l

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Reactividad	:	No se conoce ninguna reacción peligrosa bajo condiciones de uso normal.
Estabilidad química	:	El producto es químicamente estable.
Posibilidad de reacciones peligrosas	:	Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.
Condiciones a evitar	:	Humedad, calor, y fuentes de ignición.
Materiales incompatibles	:	Bases fuertes.
Productos de descomposición peligrosos	:	Vapores de azufre. No se descompone si se almacena y aplica como se indica.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda

Sin datos disponibles

Corrosión/irritación cutáneas

No clasificado según la información disponible.

Lesiones oculares graves/irritación ocular

Provoca lesiones oculares graves.

Sensibilidad respiratoria o cutánea

Sensibilización cutánea: No clasificado según la información disponible.

Sensibilización respiratoria: No clasificado según la información disponible.

Mutagenicidad de células germinales

No clasificado según la información disponible.

Carcinogenicidad

No clasificado según la información disponible.

Toxicidad para la reproducción

No clasificado según la información disponible.

Toxicidad sistémica específica de órganos blancos - exposición única

No clasificado según la información disponible.

Toxicidad sistémica específica de órganos blancos - exposiciones repetidas

No clasificado según la información disponible.

Toxicidad por dosis repetidas

Sin datos disponibles

Toxicidad por aspiración

No clasificado según la información disponible.

Metabolismo

Sin datos disponibles.

Distribución

Sin datos disponibles.

Patogenicidad e infecciosidad aguda (oral, dérmica e inhalatoria)

No clasificado como patógeno según GHS.

Disrupción endocrina

Sin datos disponibles.

Neurotoxicidad

Sin datos disponibles.

Inmunotoxicidad

Sin datos disponibles.

Síntomas relacionados

Sin datos disponibles.

12. INFORMACIÓN ECOLOGICA

Ecotoxicidad

Sin datos disponibles

Persistencia y degradabilidad

Altamente degradable, no persistente.

Potencial bioacumulativo

Potencial bioacumulativo bajo.

Movilidad en suelo

Alta movilidad.

Otros efectos nocivos

Producto:

Información ecológica complementaria : No existe ningún dato disponible para ese producto.

13. INFORMACIÓN SOBRE LA DISPOSICIÓN FINAL

Métodos de eliminación

Residuos : No contamine los estanques, cursos de agua o zanjas con el producto químico o el contendor utilizado.
Envíese a una compañía autorizada para la gestión de residuos.

Envases contaminados : Vacíe el contenido restante.
No reutilice los recipientes vacíos.

Material contaminado : No es considerado un residuo peligroso, debe ser dispuesto en una instalación autorizada.

14. INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

	Modalidad de transporte		
	Terrestre	**Marítima**	**Aérea**
Regulaciones	Decreto Supremo N°298: Transportes de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos, NCh 2190: Transporte sustancias peligrosas	NCh 2190: Transporte sustancias peligrosas, IMDG, IMSBC	NCh 2190: Transporte sustancias peligrosas, IATA
Número NU	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
Designación oficial de transporte	NO CLASIFICADO COMO PELIGROSO	NO CLASIFICADO COMO PELIGROSO	NO CLASIFICADO COMO PELIGROSO
Clasificación de peligro primario NU	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
Clasificación de peligro secundario NU	No aplica	No aplica	No aplica
Grupo de embalaje/envase	Envase de PEAD. Producto no peligroso	Envase de PEAD. Producto no peligroso	Envase de PEAD. Producto no peligroso
Peligros ambientales	Contaminación acuática	Contaminación acuática	Contaminación atmosférica en caso de incendio
Precauciones especiales	Evitar derrame en cursos de agua	Evitar derrame en cursos de agua	Evitar derrame
Transporte a granel de acuerdo con MARPOL 73/78, Anexo II, y con IBC Code	No clasificado como peligroso		

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Reglamentación medioambiental, seguridad y salud específica para la sustancia o mezcla

Decreto 43/2016, Aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas

Decreto 190. Sustancias Cancerígenas, Manejo de Residuos Peligrosos.	:	No aplicable
Convención Internacional sobre las Armas Químicas (CWC) Programas sobre los Productos Químicos Tóxicos y los Precursores (Louisiana Administrative Code, Title 33, Part V Section 10101 et. seq.)	:	No aplicable
Decreto 1358 - Establece normas que regulan las medidas de control de precursores y sustancias químicas esenciales.	:	No aplicable

Referencia

- Decreto Supremo N°40 Informar sobre los riesgos de exposición.
- Decreto Supremo N°43 Almacenamiento de sustancias peligrosas. Versión 2015
- Decreto Supremo N°72, Art. 16 Reglamento de Seguridad Minera.
- Decreto Supremo N°148 Disposición de Residuos Peligrosos.
- Decreto Supremo N°298 Transporte de carga de sustancias o productos peligrosos o que presenten riesgos para la salud de las personas.
- Decreto Supremo N°594 Condiciones básicas mínimas en los lugares de trabajo.
- Norma Chilena NCh 382 Mercancías Peligrosas- Clasificación.
- Norma Chilena NCh 1411/4:2000 Prevención de riesgos - Parte 4: Señales de seguridad para la identificación de riesgos de materiales
- Norma Chilena NCh 2190:2003 Transporte de sustancias peligrosas - Distintivos para identificación de riesgos
- Norma Chilena NCh 2245. Hoja de datos de seguridad para productos químicos - contenido y orden de las secciones.

El receptor debería verificar la posible existencia de regulaciones locales aplicables al producto químico.

16. OTRA INFORMACIÓN INCLUIDAS LAS RELATIVAS A LA PREPARACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LAS HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD

Control de cambios

No aplica

Abreviaturas, acrónimos, y referencias

AICS - Inventario Australiano de Sustancias Químicas; ANTT - Agencia Nacional para Transporte Terrestre de Brasil; ASTM - Sociedad Estadounidense para la Prueba de Materiales; bw - Peso corporal; CMR - Carcinógeno, mutágeno o tóxico para la reproducción; CPR - Reglamentaciones para productos controlados; DIN - Norma del Instituto Alemán para la Normalización; DSL - Lista Nacional de Sustancias (Canadá); ECx - Concentración asociada con respuesta x%; ELx - Tasa de carga asociada con respuesta x%; EmS - Procedimiento de emergencia; ENCS - Sustancias Químicas Existentes y Nuevas (Japón); ErCx - Concentración asociada con respuesta de tasa de crecimiento x%; ERG - Guía de respuesta en caso de emergencia; GHS - Sistema Globalmente Armonizado; GLP - Buenas Prácticas de Laboratorio; IARC - Agencia Internacional para la inves-

tigación del cáncer; IATA - Asociación Internacional de Transporte Aéreo; IBC - Código internacional para la construcción y equipamiento de Embarcaciones que transportan químicos peligros a granel; IC50 - Concentración inhibitoria máxima media; ICAO - Organización Internacional de Aviación Civil; IECSC - Inventario de Sustancias Químicas en China; IMDG - Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas; IMO - Organización Marítima Internacional; ISHL - Ley de Seguridad e Higiene Industrial (Japón); ISO - Organización Internacional para la Normalización; KECI - Inventario de Químicos Existentes de Corea; LC50 - Concentración letal para 50% de una población de prueba; LD50 - Dosis letal para 50% de una población de prueba (Dosis letal mediana); MARPOL - Convenio Internacional para prevenir la Contaminación en el mar por los buques; n.o.s. - N.E.P.: No especificado en otra parte; Nch - Normas Chilenas; NO(A)EC - Concentración de efecto (adverso) no observable; NO(A)EL - Nivel de efecto (adverso) no observable; NOELR - Tasa de carga de efecto no observable; NOM - Norma Oficial Mexicana; NTP - Programa Nacional de Toxicología; NZIoC - Inventario de Químicos de Nueva Zelanda; OECD - Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; OPPTS - Oficina para la Seguridad Química y Prevención de Contaminación; PBT - Sustancia persistente, bioacumulativa y tóxica; PICCS - Inventario Filipino de Químicos y Sustancias Químicas; (Q)SAR - Relación estructura-actividad (cuantitativa); REACH - Reglamento (EC) No 1907/2006 del Parlamento y Consejo Europeos con respecto al registro, evaluación autorización y restricción de químicos; SADT - Temperatura de descomposición autoacelerada; SDS - Hoja de datos de seguridad; TCSI - Inventario de Sustancias Químicas de Taiwán; TDG - Transporte de artículos peligrosos; TSCA - Ley para el Control de Sustancias Tóxicas (Estados Unidos); UN - Naciones Unidas; UNRTDG - Recomendaciones para el Transporte de Mercancías Peligrosas de las Naciones Unidas; vPvB - Muy persistente y muy bioacumulativo; WHMIS - Sistema de información sobre materiales peligrosos en el trabajo

La información contenida en esta ficha de datos de seguridad corresponde a nuestro nivel de conocimiento en el momento de su publicación. Quedan excluidas todas las garantías. Se aplicaran nuestras condiciones generales de venta en vigor. Por favor, consulte la Hoja de Datos del Producto antes de su uso y procesamiento.

CL / 1X

Anexo 9.

Ficha de Seguridad para Viscocrete (Plastificante)

Hoja de Seguridad

según Directiva 91/155/EEC y Norma ISO 11014-1
(ver instrucciones en Anexo de 93/112/EC)

Construcción

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA

Identificación del producto
Nombre comercial:
Sika® ViscoCrete® SC-50

Información del Fabricante / Distribuidor

Fabricante / Distribuidor	Sika Perú S.A.C
Dirección	Habilitación Industrial El Lúcumo Mz. B Lote 6, Lurín, Lima – Perú
Código postal y ciudad	Lima 16 – Lurín
País	Perú
Número de teléfono	(51 1) 618-6060
Telefax	(51 1) 618-6070
Teléfono de urgencias	Aló EsSalud 472-2300 0801-10200

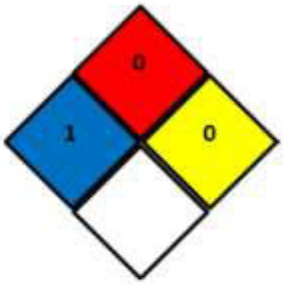
2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Descripción Química
Solución acuosa de polímero

3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

No esta clasificado como peligroso según directiva 1999/45/EC.
Ver capítulo 11 y 12

Identificación de Riesgos de Materiales según NFPA



Salud: 1 **Inflamabilidad: 0** **Reactividad: 0**

4. PRIMEROS AUXILIOS

Instrucciones Generales
Facilitar siempre al médico la hoja de seguridad.

En caso de inhalación

Construcción

Procurar aire fresco. Si se sienten molestias, acudir al médico.

En contacto con la piel
Quitar las ropas contaminadas y lavar las partes afectadas, si se presenta síntomas de irritación, acudir al médico.

En contacto con los ojos
Lavar los ojos inmediatamente por lo menor 15 minutos con abundante agua. Empezar algún tratamiento médico.

En caso de Ingestión
No inducir al vómito. Requerir inmediatamente ayuda médica.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción adecuados
- Espuma
- Polvo Extintor
- Dióxido de carbono

Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad
- No se conocen.

Riesgos específicos que resultan de la exposición a la sustancia, sus productos de combustión y gases producidos.
No se conocen.

Equipo de protección para el personal de lucha contra incendios
- Usar equipo respiratorio autónomo.

Indicaciones adicionales
- Los restos del incendio así como el agua de extinción contaminada, deben eliminarse según las normas en vigor.

6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones individuales
- Contar con el equipo necesario, no tocar o caminar sobre material derramado.
- Usar ropa de protección personal.
- Si se expone a los vapores/polvo/aerosol usar aparatos de protección respiratoria.

Medidas de protección del medio ambiente
- En caso de penetración en cursos de agua, el suelo o los desagües, avisar a las autoridades competentes.

Métodos de limpieza
- Recoger con materiales absorbentes adecuados (ejemplo arena, aserrín, cargas en general).
- Tratar el material recogido según se indica en el apartado "eliminación de residuos".

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación
Indicaciones para manipulación sin peligro
- Ver capítulo 8 / Equipo de protección personal
- No comer, beber o fumar en áreas donde se manipula el material.
- Lavarse las manos luego de haber manipulado el producto.

Construcción

Indicaciones para la protección contra incendio y explosión
No aplicable

Almacenamiento
Exigencias técnicas para almacenes y recipientes
- Almacenar según las normas locales.
- El recipiente debe estar herméticamente cerrado en lugar fresco, y bien ventilado. Mantener el producto en su envase original.

Indicaciones para el almacenamiento conjunto
- Mantener alejado de alimentos, bebidas y comida para animales.

Información adicional relativa al almacenamiento
- Proteger de temperaturas elevadas y de los rayos solares directos.
- Proteger de las heladas

8. LÍMITES DE EXPOSICIÓN Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Protección personal
Este producto tiene ingredientes con límites de exposición, se requiere de una buena ventilación. El lugar de trabajo podría necesitar monitoreo biológico o atmosférico.

Medidas generales de protección e higiene
- No fumar, ni comer o beber durante el trabajo.
- Lavarse las manos antes de los descansos y después del trabajo.

Protección respiratoria
No aplicable

Protección de las manos
- Guantes de goma

Protección de los ojos
- Gafas protectoras



Protección corporal
- Ropa de trabajo para evitar el contacto con el producto.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto

Estado Físico	Líquido
Color	Gris a gris oscuro
Olor	Inodoro

Datos significativos para la seguridad

		Método
Punto de inflamación	No aplicable	
Densidad a 20°C	~1.10 g/cm^3	
Solubilidad en agua a 20°C	Miscible	
pH al 10% a 20°C	3.0 – 5.0	

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Condiciones que deben evitarse
No se conocen, el producto es estable bajo condiciones normales de almacenamiento.

Materias que deben evitarse / reacciones peligrosas
Almacenando y manipulando el producto adecuadamente, no se producen reacciones peligrosas.

Descomposición térmica y productos de descomposición peligrosos
Utilizando el producto adecuadamente, no se descompone.

11. INFORMACIONES TOXICOLÓGICAS

Sensibilización
No se conocen efectos a largo plazo.

Experiencia sobre personas
Contacto con la piel
- Puede causar irritación

Contacto con los ojos
- Puede causar irritación

Inhalación
- Puede causar irritación

Ingestión
- Puede causar perturbación intestinales.

12. INFORMACIONES ECOLÓGICAS

Indicaciones adicionales
- No permitir el paso al alcantarillado, cursos de agua o terrenos.

13. ELIMINACIÓN DE RESIDUOS

Se debe evitar la generación de residuos lo más posible

Producto
Recomendaciones
Ver capítulo 15, regulaciones nacionales.
Observar las normas en vigor, debe ser tratado en un centro de eliminación de residuos industriales.

Envases / embalajes sin limpiar
Recomendaciones
- Envases / embalajes totalmente vacíos pueden destinarse al reciclaje.
- Envases / embalajes que no pueden ser limpiados deben ser eliminados de la misma forma que la sustancia contenida.

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

ADR / RID
Información Complementaria
Mercancía no regulada

IMO / IMDG
Información Complementaria
Mercancía no regulada

IATA / ICAO

Construcción

Información Complementaria
Mercancía no regulada

15. DISPOSICIONES DE CARÁCTER LEGAL

Normas / Regulaciones:
Etiquetado según 88/379/EEC
Según Directivas CE y la legislación nacional correspondiente, el producto no requiere etiqueta.

16. OTRAS INFORMACIONES

En caso de emergencia consultar a Aló EsSalud
Teléfono: 472-2300 ó 0801-10200

**"La presente Edición anula y reemplaza la Edición Nº4
la misma que deberá ser destruida"**

Advertencia:
La información contenida en esta Hoja de Seguridad corresponde a nuestro nivel de conocimiento en el momento de su publicación. Quedan excluidas todas las garantías. Se aplicarán nuestras Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Por favor, consulte la Hoja Técnica del producto antes de su utilización. Los usuarios deben remitirse a la última edición de las Hojas de Seguridad de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe

Aprobado por: CVS

Construcción

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Rolando Ricardo Llerena Calle Bracamonte
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 71978459
Correo electrónico : Ricardolb720@gmail.com
Teléfono/Celular : 946686871

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	x			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (**x**)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (x)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título: OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO APLICADOS EN LABORES PERMANENTES EN UNIDADES MINERAS SUBTERRÁNEAS A PARTIR DE LA EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL MACIZO ROCOSO PREEXISTENTE
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra: https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html): 2.07.05
c) Fecha de publicación: 2026

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos: Juan Elias Rojas Condori
b) DNI/Pasaporte/Cédula: 00482808
c) ORCID: 0000-0002-9796-9146

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71978459
NOMBRES Y APELLIDOS : Rolando Ricardo Llerena Calle Bracamonte

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(x) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....



DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71978459

NOMBRES Y APELLIDOS : Rolando Ricardo Llerena Calle Bracamonte

FECHA : 12/02/2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Rolando Ricardo Llerena Calle Bracamonte, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería de minas, de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado (a) con DNI: N.º 71978459, autor(a) de la Tesis / Trabajo de suficiencia profesional titulado OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SOSTENIMIENTO APLICADOS EN LABORES PERMANENTES EN UNIDADES MINERAS SUBTERRÁNEAS A PARTIR DE LA EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL MACIZO ROCOSO PREEXISTENTE

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 12 de febrero de 2026.



Huella digital

Nombres y Apellidos: Rolando Ricardo Llerena Calle Bracamonte
DNI:71978459

Base legal: RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 194-2020-SUNEDU-02-15

TESIS_OFFICIAL_SHOTCRETE.pdf

My Files

My Files

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::23228:539011255

Fecha de entrega

10 dic 2025, 10:17 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

10 dic 2025, 10:36 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_OFFICIAL_SHOTCRETE.pdf

Tamaño del archivo

12.8 MB

164 páginas

28.742 palabras

173.646 caracteres

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

4%	Fuentes de Internet
1%	Publicaciones
4%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

4% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1 Trabajos entregados
Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann on 2025-11-27 1%

2 Internet
hdl.handle.net <1%

3 Internet
repositorio.unjbg.edu.pe <1%

4 Trabajos entregados
Universidad Nacional de Moquegua on 2025-07-30 <1%

5 Internet
repositorio.continental.edu.pe <1%

6 Internet
repositorio.ana.gob.pe <1%

7 Trabajos entregados
ipn on 2025-06-21 <1%

8 Internet
repositorio.uandina.edu.pe <1%

9 Trabajos entregados
Vilniaus kolegija on 2025-06-02 <1%

10 Trabajos entregados
ucb on 2025-06-18 <1%

11 Internet
www.ceo.org.co <1%

12 Trabajos entregados
Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2023-08-29 <1%

13 Internet
apirepositorio.unh.edu.pe <1%

14 Internet
repositorio.unia.edu.pe <1%

15 Trabajos entregados
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2025-12-01 <1%

16 Internet
fr.slideshare.net <1%

17 Internet
renati.sunedu.gob.pe <1%

18 Internet
repositorioacademico.upc.edu.pe <1%

19 Trabajos entregados
Universidad de Caldas on 2023-06-05 <1%

20 Trabajos entregados
Universidad Nacional de Moquegua on 2025-09-30 <1%

21 Trabajos entregados
uncedu on 2024-01-19 <1%

22 Trabajos entregados
Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann on 2025-06-30 <1%

23 Internet
bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083 <1%

24 Internet
docslib.org <1%

25 Internet
repositorio.uncp.edu.pe <1%

26 Internet
www.dspace.uce.edu.ec <1%

27 Publicación
Fretel, Julio Anastacio Abad. "Las Competencias Ciudadanas Desarrolladas Por Lo... <1%

28 Trabajos entregados
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2025-11-30 <1%

29 Internet
repositorio.unah.edu.pe <1%

30 Internet
www.ust.cl <1%

31 Trabajos entregados
Universidad Catolica de Trujillo on 2018-01-15 <1%

32 Internet
repositorio.unjfsc.edu.pe <1%

33 Trabajos entregados
uncedu on 2025-08-12 <1%

34 Trabajos entregados
Universidad Nacional Federico Villarreal on 2025-06-05 <1%

35 Trabajos entregados
uni on 2025-07-08 <1%

36 Trabajos entregados
Unidades Tecnológicas de Santander on 2025-03-14 <1%

37 Internet
issuu.com <1%

38 Internet
repositorio.ucc.edu.ni <1%

39 Internet
www.todosobredepilacion.com <1%

40 Publicación
I. Garcia-Lodeiro, J. G. Palomo, A. Palomo, A. Fernández-Jiménez. "A statistical app... <1%

41 Trabajos entregados
Universidad Privada Boliviana on 2025-09-05 <1%

42 Trabajos entregados
Universidad Tecnologica del Peru on 2025-11-05 <1%

43 Internet
backend.orbit.dtu.dk <1%

44 Internet
dbpedia.org <1%

45 Internet
de.slideshare.net <1%

46 Internet
repositorio.unaj.edu.pe <1%

47 Internet
www.astromia.com <1%

48 Internet
www.borderecoweb.sdsu.edu <1%

49 Internet
www.researchgate.net <1%

50 Internet
1library.co <1%

51 Trabajos entregados
BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA on 2025-02-07 <1%

52 Publicación
CESEL S A. "Primera MEIA de la Unidad Minera Casapalca-IGA0000614", R.D. N° 18... <1%

53 Trabajos entregados
Dumfries and Galloway College on 2023-06-09 <1%

54 Trabajos entregados
Escuela De Educación Superior Pedagógico Público Indoamerica on 2025-07-21 <1%

55 Trabajos entregados
Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2025-05-10 <1%

56 Trabajos entregados
Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2025-09-21 <1%

57 Trabajos entregados
Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2025-12-07 <1%

58 Trabajos entregados
Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2023-09-02 <1%

59 Trabajos entregados
Universidad Privada Antenor Orrego 2025 on 2025-11-21 <1%

60 Internet
alicia.concytec.gob.pe <1%

61 Internet
covidreference.com <1%

62 Internet
idoc.pub <1%

63 Internet
oa.upm.es <1%

64 Internet
repositorio.unam.edu.pe <1%

65 Internet
repositorio.unc.edu.pe <1%

66 Internet
repositorio.upla.edu.pe <1%

67 Internet
repositorio.upse.edu.ec <1%

68 Internet

repositorio.upt.edu.pe <1%

69 Internet

repositorio.uta.edu.ec <1%

70 Internet

www.coursehero.com <1%

91893

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 301-2026-CU

Moquegua, 29 de abril de 2026

VISTOS:

La Resolución de Consejo de Facultad N° 065-2026-CF-FAIN-UNAM, emitido por la Decana de la Facultad de Ingenierías; el Informe N° D0196-2026-UNAM-R-FAIN, emitido por la Decana de la Facultad de Ingenierías, el Informe Técnico N° D0052-2026-SG-GT, emitido por la Especialista Administrativo II de Grados y Títulos; el Informe N° D0217-2026-UNAM-R-SG, emitido por el Secretario General de la UNAM; el Proveído N° 1945-2026-R, emitido por el señor Rector; el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Extraordinaria N° 19-2026-SE-CU-UNAM, de fecha 29 de abril de 2026, y;

CONSIDERANDO:

Que, conforme al 4to párrafo del artículo 18, de la Constitución Política del Perú, dispone que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Y el artículo 8º de la Ley Nº 30220-Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y demás normativa aplicable. Concordante con el artículo 1, de la Ley Nº 31520, Ley que restablece la autonomía y la institucionalidad de las universidades peruanas, así como la Ley N° 32141, Ley que modifica la Ley N° 30220-Ley Universitaria, a fin de fortalecer la institucionalidad de las Universidades Públicas licenciadas;

Que, el Artículo 58, de la Ley N° 30220-Ley Universitaria, establece que el Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la Universidad. Concordante con el artículo 18° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado bajo Resolución de Asamblea Universitaria N° 015-2025-AU-UNAM;

Que, el artículo 59 de la Ley Universitaria-Ley N° 30220, establece las atribuciones del Consejo Universitario, y específicamente el numeral 59.9, establece; Conferir los grados académicos y los títulos profesionales aprobados por las Facultades y Escuela de Posgrado, así como otorgar distinciones honoríficas y reconocer y revalidar los estudios, grados y títulos de universidades extranjeras, cuando la universidad está autorizada por la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria. Concordante con el numeral 14, del artículo 20° del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua;

Que, mediante Resolución de Asamblea Universitaria N° 006-2026-AU, de fecha 20 de abril de 2026, se aprobó la incorporación de la Disposición Transitoria N° 22 al Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, referido a la excepción para la emisión de los grados académicos de bachiller y títulos profesionales consignando la denominación de "Facultad de Ingeniería y Arquitectura";

Que, mediante la Resolución de Consejo de Facultad N° 065-2026-CF-FAIN-UNAM, de fecha 27 de marzo de 2026, el Consejo de Facultad de Ingenierías aprobó el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero de Minas, por la modalidad de Tesis, a cinco (05) Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Nacional de Moquegua, de acuerdo al siguiente detalle: CARLOS DANIEL VIZCARRA MAMANI, ROLANDO RICARDO LLERENA CALLE BRACAMONTE, EDWIN FIDEL FLORES CHECALLA, ALBERT JUSTIN RAMOS FUENTES y ALBERTO ANDRÉ CÁCERES MAMANI;

Que, mediante Informe N° D0196-2026-UNAM-R-FAIN, de fecha 06 de abril de 2026, la Decana de la Facultad de Ingenierías, remite a Secretaría General la Resolución de Consejo de Facultad Nº 065-2026-CF-FAIN-UNAM, de fecha 27 de marzo de 2026;

Que, mediante Informe Técnico N° D0052-2026-SG-GT de fecha 23 de abril de 2026, e Informe N° D0217-2026-UNAM-R-SG de fecha 24 de abril de 2026, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado los expedientes para el trámite de Título Profesional de Ingeniero de Minas a los Bachilleres: CARLOS DANIEL VIZCARRA MAMANI, ROLANDO RICARDO LLERENA CALLE BRACAMONTE, EDWIN FIDEL FLORES CHECALLA, ALBERT JUSTIN RAMOS FUENTES y ALBERTO ANDRÉ CÁCERES MAMANI, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quienes se encuentran aptos para la expedición del Título Profesional de Ingeniero de Minas, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios, exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, razón por la cual, el señor Secretario General incluye dichos expedientes como punto de agenda para ser tratado en Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 29 de abril de 2026;

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...). Asimismo, la Ley N° 31803, modifica el artículo en mención adicionando; La Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

Universidad Nacional de Moquegua

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 301-2026-CU

Moquegua, 29 de abril de 2026

(SUNEDU) determina los criterios, así como establece y supervisa el procedimiento administrativo para el reconocimiento de grados y títulos otorgados en el extranjero, en el marco de la normativa vigente;

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, precisa los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022, N° 880-2023-UNAM y N° 081, 484-2024-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, bajo el amparo de los considerandos precedentes, el Pleno del Consejo Universitario en Sesión Extraordinaria N° 19-2026-SE-CU-UNAM, de fecha 29 de abril de 2026, emitió, el siguiente, Acuerdo, POR UNANIMIDAD: CONFERIR, a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero de Minas por la modalidad de Tesis a los Bachilleres: CARLOS DANIEL VIZCARRA MAMANI, ROLANDO RICARDO LLERENA CALLE BRACAMONTE, EDWIN FIDEL FLORES CHECALLA, ALBERT JUSTIN RAMOS FUENTES y ALBERTO ANDRÉ CÁCERES MAMANI, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua;

En uso de las facultades y atribuciones conferidas por el Art. 18, de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 30220 Ley Universitaria, el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, y a lo acordado por el pleno del Consejo Universitario:

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: CONFERIR, A NOMBRE DE LA NACIÓN a los Bachilleres

- **CARLOS DANIEL VIZCARRA MAMANI**
- **ROLANDO RICARDO LLERENA CALLE BRACAMONTE**
- **EDWIN FIDEL FLORES CHECALLA**
- **ALBERT JUSTIN RAMOS FUENTES**
- **ALBERTO ANDRÉ CÁCERES MAMANI**

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS.**

Por la modalidad de TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 2°: ENCARGAR, al Secretario General de la UNAM, para que realice las acciones pertinentes relacionadas con la inscripción correspondiente en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO 3°: DISPONER, el cumplimiento de la presente Resolución a todas las dependencias de la Universidad Nacional de Moquegua.

ARTÍCULO 4°: DISPONER la publicación de la presente resolución en el Portal Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua www.unam.edu.pe

REGÍSTRESE, PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE;

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA SECRETARIA GENERAL

MTRO. JOSE LUIS PACHECO CACERES
SECRETARIO GENERAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA CONSEJO UNIVERSITARIO

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
RECTOR
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCIÓN: VRAC, VRI, FAIN, EPIM, OyT, DASA, OTI, Interesado, C.c. Arch.

Domicilio Legal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe