UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

"CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES MINERAS EN 05 U.M. DE LA SIERRA CENTRAL DEL PERÚ Y SU RELACIÓN CON EL SHOTCRETE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA"

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. Allison Tatiana Navarrete Gonzales

ASESOR:

MGR. JORGE LUIS TOMAS FLOREZ SALAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ 2025

Folio N° 059

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°055-2025-CF-FACIA-UNAM
Fecha: 24.07.2025

III. El Jurado ha dictaminado la (el) ....., TITULADO:
"CARACTERIZACIÓN FISICOQUIMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES MINERAS EN OS U.M. DE LA SIERRA CENTRAL DEL PERÚ Y SU RELACIÓN CON EL SHOTCRETE EN MINERIA SUBTERRANEA"

Bachiller: Allison Tatiana NAVARRETE GONZALES
Asesor Principal: Dr. Jorge Luis Tomas FLOREZ SALAS
Co-Asesor : .....

IV. Se dictamina:
Como: Aprobado por Unanimidad la sustentación de manera:
Presencial [X] Virtual [ ]
Con nota: dieciseis (16) por lo que; Sí [X] No [ ]
Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 11:30 horas, del 31 de julio del año 2025 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Presidente
Dr. Arquímedes León VARGAS LUQUE
(Nombres y Apellidos)

Primer Miembro
Dra. Bertha Silvana VERA BARRIOS
(Nombres y Apellidos)

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

Bachiller
Allison Tatiana NAVARRETE GONZALES
(Nombres y Apellidos)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES MINERAS EN 05 U.M. DE LA SIERRA CENTRAL DEL PERÚ Y SU RELACIÓN CON EL SHOTCRETE EN MINERÍA SUBTERRANEA

Tesis sustentada y aprobada el 31 de julio de 2025, estando integrado el jurado dictaminador y el asesor por:

PRESIDENTE: **Dr. ARQUIMEDES LEON VARGAS LUQUE**

1ER MIEMBRO: **Dra. BERTHA SILVANA VERA BARRIOS**

2DO MIEMBRO: **Msc. AGAPITO FLORES JUSTO**

ASESOR: **Dr. JORGE LUIS TOMAS FLOREZ SALAS**

DEDICATORIA

Se la dedico al forjador de mi camino, a mi Padre celestial, quien me sostiene cuando tropiezo y me recuerda que la fe también es avanzar con el corazón abierto. A las creadoras de mis sueños, mi madre y mi hermana, quienes han sido mi refugio, mi motor y mi ejemplo de entrega. A mis verdaderos amigos, los que estuvieron cuando todo costaba más, y supieron acompañarme sin condiciones. A esta carrera que me retó, me agotó y me enseñó. Y a mí, por continuar, aun cuando no sabía si podría. Este logro es de todos nosotros, y lo llevo en el alma con gratitud infinita.

A mi papito en el cielo, te siento en cada paso. Gracias por seguir conmigo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su guía constante, por sostenerme en los momentos más difíciles y recordarme que todo esfuerzo tiene sentido.

A mi mamá y a mi hermana, por su amor incondicional, por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía, y por ser mi fuerza silenciosa en cada etapa de este camino académico.

A mis abuelos, por confiar a ojos cerrados en cada paso que daba, por su fe inquebrantable en mí y por todo el amor que siempre me regalaron sin medida.

*Al ingeniero **Jorge Flórez Salas**, por su valiosa orientación, paciencia y compromiso a lo largo del desarrollo de esta tesis, y por motivarme a mantener siempre el rigor profesional.*

*A mis verdaderas amigas, **María y Pierina**, por estar cuando más las necesité, por su apoyo sincero, sus palabras oportunas y su compañía incondicional.*

Este trabajo también les pertenece.

ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 16

1.1. Descripción y formulación del problema 16
1.1.1. Identificación del problema 16
1.2. Objetivos 19
1.2.1. Objetivo general 19
1.2.2. Objetivos específicos 19
1.3. Justificación e importancia 20
1.3.1. Justificación Ambiental 20
1.3.2. Justificación Social 21
1.3.3. Justificación Científica 22
1.4. Hipótesis 23
1.4.1. Hipótesis general 23
1.4.2. Hipótesis especificas 23
1.5. Variables 24
1.5.1. Variable Independiente 24
1.5.2. Variable Dependiente 24
1.5.3. Operacionalización de Variables 25

II. MARCO TEÓRICO 26

2.1 Antecedentes 26
2.1.1 Antecedentes Internacionales 26
2.1.2 Antecedentes Nacionales 32
2.2 Bases Teóricas 40
2.2.1. Minería Subterranea y sus caracteriticas 41
2.2.2. Métodos de Explotación Subterránea en la Sierra Central del Perú 44
2.2.3. Características Geomecánicas 46
2.2.4. Estudios hidrogeológicos 48
2.2.5. Métodos de Sostenimiento en Minería Subterránea 52
Nota. Elaboración propia 56
2.2.6. Uso de Shotcrete en Mineria Subterranea 56
2.2.7. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras 61
2.2.7.7. Metodologías analíticas 63
2.2.8. Normativa Ambiental en Minería Subterránea en el Perú 65
2.3. Definición de Términos 68
2.3.1. Aguas residuales mineras 68
2.3.2. Geología Local 68
2.3.3. Litología 68
2.3.4. Hidrogeología 68

2.3.5. Caracterización Geomecánica 69
2.3.6. Shotcrete 69
2.3.7. Rock Mass Rating (RMR) 69
2.3.8. Caracterización Fisicoquímica del agua 70
2.3.9. Lixiviacion 70
2.3.10. Metales pesados 70
2.3.11. ICP-MS (Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente) 70
2.3.12. Subsistencia minera 70
2.3.13. Macizo rocoso 71
2.3.14. Geomecánica 71
III. METODOLOGÍA 72
3.1 Tipo y Nivel de Investigación 72
3.2 Ámbito Temporal y Espacial 73
3.3 Población y Muestra 75
3.4 Instrumentos de Análisis en Laboratorio 75
3.4.1. Validación y Confiabilidad de los Instrumentos 77
3.5 Procedimientos 77
3.6 Análisis de Datos 79
3.7 Consideraciones Éticas y Ambientales 80
IV. RESULTADOS Y DISCUSION 82
4.1. Análisis de Resultados 82
4.1.1. Influencia del flujo de agua subterránea en la calidad de los efluentes de las 05 unidades mineras 82
4.1.1.1. Unidad Minera Andaychagua 82
4.1.1.2. Unidad Minera San Cristobal 86
4.1.1.3. Unidad Minera Carahuacra 89
4.1.1.4. Unidad Minera El Porvenir Milpo 93
4.1.1.5. Unidad Minera Atacocha 95
4.1.1.6. Evaluación comparativa de características fisicoquímicas 98
4.1.2. Interacción entre las características geomecánicas del macizo rocoso y el shotcrete aplicado 99
4.1.2.1. Unidad Minera Andaychagua 100
4.1.2.2. Unidad Minera San Cristobal 101
4.1.2.3. Unidad Minera Carahuacra 103
4.1.2.4. Unidad Minera El Porvenir Milpo 104
4.1.2.5. Unidad Minera Atacocha 106
4.1.2.6. Evaluación comparativa de la dosificación del shotcrete en relación con las condiciones subterráneas 108
4.1.3. Evaluación de contaminantes clave y su relación con el deterioro del

shotcrete 110
4.1.3.1. Contaminantes relevantes detectados en aguas subterráneas 110
4.1.3.2. Análisis experimental: simulación de contacto agua–shotcrete en laboratorio 112
4.1.3.3. Implicancias sobre el sostenimiento y el medio ambiente 114
4.2. Discusión 116
V. CONCLUSIONES 120
VI. RECOMENDACIONES 122
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 124
VIII. ANEXOS 140

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 Comparación entre minería subterránea y a cielo abierto 43
Tabla 2 Métodos de explotación subterránea usados en minas de la sierra central .. 46
Tabla 3 Clasificación geomecánica RMR adaptada con sostenimiento 48
Tabla 4 Clasificación de pH 50
Tabla 5 Clasificación de conductividad eléctrica 51
Tabla 6 Clasificación de sólidos totales disueltos 51
Tabla 7 Principales métodos de sostenimiento utilizados 54
Tabla 8 Método de sostenimiento sugerido según RMR 56
Tabla 9 Composición estándar de shotcrete 58
Tabla 10 Compatibilidad del shotcrete con condiciones hidroquímicas 59
Tabla 11 Dosificación típica de shotcrete en minas subterráneas peruanas 60
Tabla 12 Normativas ambientales aplicables a la interacción agua residual–shotcrete 67
Tabla 13 Parámetros fisicoquímicos del agua subterránea – Mina Andaychagua 84
Tabla 14 Parámetros fisicoquímicos en piezómetros – Mina Andaychagua 85
Tabla 15 Parámetros fisicoquímicos – Mina San Cristóbal 87
Tabla 16 Parámetros fisicoquímicos en piezómetros – Mina San Cristóbal 88
Tabla 17 Composición fisicoquímica (febrero) – Mina Carahuacra 91
Tabla 18 Composición fisicoquímica (abril) – Mina Carahuacra 92
Tabla 19 Composición fisicoquímica – Mina El Porvenir (Milpo) 94
Tabla 20 Composición fisicoquímica – Mina Atacocha 97
Tabla 21 Resumen comparativo de parámetros fisicoquímicos – 5 U.M. evaluadas 98
Tabla 22 Dosificación del shotcrete – U.M. Andaychagua (kg/m³ y L/m³) 101
Tabla 23 Dosificación del shotcrete – U.M. San Cristóbal (kg/m³ y L/m³) 102
Tabla 24 Dosificación del shotcrete – U.M. Carahuacra (kg/m³ y L/m³) 104
Tabla 25 Dosificación del shotcrete – U.M. El Porvenir (Milpo) (kg/m³ y L/m³) .. 105
Tabla 26 Dosificación del shotcrete – U.M. Atacocha (kg/m³ y L/m³) 107
Tabla 27 Composición técnica del shotcrete por unidad minera 108
Tabla 28 Comparación de metales y sulfatos vs límites ECA – Categoría 3 111
Tabla 29 Metales solubles liberados tras contacto con shotcrete (muestras sintéticas) 112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema Minería Subterránea 41
Figura 2 Minería a Cielo Abierto vs Minería Subterránea 43
Figura 3 Método de explotación Sublevel Stoping 44
Figura 4 Esquema de acuíferos libres y confinados en un perfil hidrogeológico 48
Figura 5 Métodos de sostenimiento del macizo rocoso 52
Figura 6 Malla electrosoldada en Galería subterránea 52
Figura 7 Guía para el sostenimiento de excavaciones permanentes 54
Figura 8 Aplicación mecanizada de shotcrete en túnel subterráneo 56
Figura 9 Sistema de diálisis de flujo continúo acoplado a espectrometría ICP-OES 63
Figura 10 Ubicación geográfica de las 5 unidades mineras de producción en la sierra central del Perú. 67

RESUMEN

La minería subterránea, como actividad económica clave en el Perú, genera aguas residuales con alta carga de compuestos químicos y metales pesados que, de no ser adecuadamente gestionados, pueden afectar significativamente la calidad de los cuerpos hídricos y el equilibrio de los ecosistemas. Uno de los elementos constructivos más utilizados en labores subterráneas es el shotcrete, un material proyectado que cumple funciones de sostenimiento estructural. Sin embargo, su constante contacto con el agua filtrante o estancada plantea interrogantes respecto a su posible rol como fuente secundaria de contaminantes o como medio susceptible al deterioro químico.

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras y su interacción con el shotcrete, en cinco unidades mineras de la Sierra Central del Perú: Andaychagua, San Cristóbal, Carahuacra, El Porvenir (Milpo) y Atacocha. Se desarrolló una metodología integral que incluyó la revisión de estudios hidrogeológicos, la interpretación de resultados analíticos de laboratorio, la evaluación de parámetros críticos como pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (TDS), y la concentración de elementos como sulfatos, hierro, zinc y aluminio. Se aplicaron además criterios normativos conforme al D.S. N.º 004-2017-MINAM (ECA-Agua) y a estándares técnicos sobre durabilidad de concretos expuestos a ambientes agresivos.

Los resultados evidenciaron que las unidades mineras presentan composiciones químicas heterogéneas, con algunos frentes de mina clasificados como aguas salobres o de alta mineralización, con riesgos potenciales de reacción expansiva por sulfatos y corrosión interna por metales traza. Asimismo, mediante una prueba de laboratorio de contacto entre shotcrete y agua destilada, se comprobó la liberación de ciertos elementos solubles (como Fe, Al, Zn y Ba) provenientes de los aditivos y componentes del concreto proyectado. Esta interacción plantea implicancias ambientales directas sobre el recurso hídrico subterráneo.

Se concluye que la calidad del agua subterránea puede verse modificada por el uso intensivo de shotcrete, dependiendo de su dosificación, la naturaleza del macizo rocoso y el entorno geoquímico local. En ese sentido, se propone una gestión más

rigurosa de los parámetros fisicoquímicos post-aplicación, así como la selección técnica de formulaciones de shotcrete resistentes a ambientes agresivos. La investigación aporta evidencia clave para el desarrollo de estrategias integradas de sostenimiento y protección ambiental en minería subterránea.

Palabras clave: Aguas residuales mineras, shotcrete, caracterización fisicoquímica, metales pesados.

ABSTRACT

Underground mining activities generate wastewater that may contain high concentrations of heavy metals and other chemical compounds, potentially altering water quality and affecting surrounding ecosystems. In this context, the use of shotcrete as a support material in mining operations could influence the chemical composition of water. This study aims to physicochemically characterize mining wastewater and evaluate its interaction with shotcrete in five mining units: Andaychagua, San Cristóbal, Carahuacra, El Porvenir, and Atacocha. Parameters such as pH, conductivity, heavy metal concentrations, and other compounds were analyzed using atomic absorption spectrophotometry and ICP-OES. The results will help identify potential variations in water composition due to shotcrete interaction and its impact concerning current Peruvian environmental regulations. This study will contribute to implementing management strategies to minimize the environmental impacts associated with shotcrete use in underground mining.

Keywords: Mining wastewater, shotcrete, physicochemical characterization, heavy metals.

INTRODUCCION

La minería subterránea es una de las principales actividades económicas en el Perú, sin embargo, su impacto al medio ambiental es un tema de creciente preocupación, especialmente en lo que respecta a la generación de aguas residuales. Estas aguas pueden contener metales pesados, sólidos disueltos y otros contaminantes que afectan tanto a los cuerpos de agua superficiales como a los subterráneos. En particular, el uso de shotcrete como sistema de sostenimiento estructural podría contribuir a la alteración de la composición química del agua, debido a la posible disolución de algunos de sus componentes en contacto con el medio acuoso.

El análisis de la calidad del agua en operaciones mineras es fundamental para garantizar la sostenibilidad del sector y el cumplimiento de las normativas ambientales en el Perú. En este contexto, la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras es una herramienta clave para evaluar su calidad y determinar los efectos potenciales de materiales utilizados en minería, como el shotcrete.

En ese sentido, es imprescindible considerar la relación directa entre los procesos de sostenimiento estructural, como el uso del shotcrete, y las condiciones hidroquímicas del entorno subterráneo. Esta interacción puede influir significativamente en la movilidad de contaminantes, modificando la dinámica del agua subterránea y afectando su calidad a mediano y largo plazo. La resistencia química del shotcrete frente a un entorno agresivo debe ser evaluada con mayor rigurosidad si se busca prolongar su durabilidad y evitar reacciones secundarias que comprometan su función.

El presente estudio se centra en la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras en cinco unidades mineras representativas del país: Andaychagua, San Cristóbal, Carahuacra, El Porvenir Milpo y Atacocha. Se analizarán parámetros clave como el pH, conductividad eléctrica, metales pesados y otros compuestos químicos presentes en el agua. A través del uso de técnicas avanzadas como la espectrofotometría de absorción atómica y el análisis ICP-OES, se evaluará el impacto potencial del shotcrete en la calidad del agua.

Asimismo, esta investigación se alinea con los objetivos de promover una minería responsable, enmarcada en la prevención de impactos ambientales negativos. La identificación de relaciones entre los parámetros fisicoquímicos del agua y el comportamiento del shotcrete no solo mejora la gestión operativa, sino que también contribuye a fortalecer la base científica para decisiones normativas orientadas a la protección de los recursos hídricos.

Los resultados obtenidos serán comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en la normativa peruana vigente, lo que permitirá identificar posibles riesgos ambientales y proponer estrategias de mitigación adecuadas. La investigación proporcionará información valiosa para mejorar la gestión del agua en minería subterránea y contribuirá a la toma de decisiones en términos de regulación y sostenibilidad ambiental.

Además, el enfoque integral de esta investigación no solo responde a una necesidad operativa en el ámbito minero nacional, sino que se alinea con los principios de desarrollo sostenible promovidos a nivel internacional. La integración de criterios hidrogeológicos, químicos y estructurales en el análisis de aguas residuales y materiales de sostenimiento representa un aporte valioso tanto para la ingeniería aplicada como para las políticas de gestión ambiental, reforzando el compromiso del sector minero con la innovación técnica y la responsabilidad ambiental.

Este estudio busca generar conocimiento científico aplicable a la industria minera, con el fin de promover prácticas más sostenibles y minimizar el impacto ambiental de las operaciones subterráneas. Además, permitirá establecer bases para futuras investigaciones relacionadas con el manejo de aguas residuales y el uso de materiales de sostenimiento en minería.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Identificación del problema

La minería subterránea en la Sierra Central del Perú es una actividad económica vital, pero enfrenta desafíos considerables en la gestión de sus aguas residuales. La complejidad geológica de la región, donde predominan los yacimientos de tipo veta o filón, conlleva a la presencia de una gran cantidad de agua en el interior de las minas. Esta agua, que se mezcla con los procesos mineros y el shotcrete utilizado como sistema de sostenimiento de las labores, constituye los efluentes mineros (aguas residuales).

Esta complejidad no solo aumenta los riesgos operacionales, sino que también complica la predicción del comportamiento hidráulico y geoquímico de las aguas residuales. El shotcrete, al estar en contacto prolongado con un medio húmedo y químicamente activo, puede experimentar reacciones que alteran tanto sus propiedades físicas como la calidad del agua circundante. Esta situación exige estudios integrales que consideren simultáneamente las propiedades del agua y del material de sostenimiento, con el fin de orientar decisiones que optimicen la gestión de efluentes mineros y mitiguen sus efectos ambientales

La gestión actual de estas aguas residuales presenta deficiencias debido a la falta de comprensión sobre la interacción del shotcrete con estas aguas y su impacto en la calidad del agua. La carencia de una caracterización fisicoquímica detallada dificulta el diseño e implementación de sistemas de tratamiento efectivos. Además, la falta de un sistema de bombeo adecuado agrava el problema, ya que el agua puede filtrarse a través de las fracturas de las rocas encajonantes, causando impactos ambientales adversos.

Según lo expuesto, se puede inferir que los efectos de las aguas residuales que se infiltran en los acuíferos confinados pueden ser de tipo geomorfológico, geomecánico, hidráulico, hidrológico y de calidad del agua, especialmente, sus características fisicoquímicas.

En cuanto al tipo geomorfológico, son muy numerosos este los efectos que

derivan de sucesos como la erosión lineal o marginal del cauce, cambios en su sección transversal, acorazamiento del lecho, entre otros. De todos ellos, la incisión del cauce, unida a la erosión transitoria del lecho en sucesos de avenidas o crecidas, constituye el proceso inducido más sintomático y notorio por cuanto afecta directamente al nivel freático y a las infraestructuras viarias e hidráulicas que lo atraviesan.

Desde una perspectiva operativa, el desconocimiento de cómo estas aguas afectan a los materiales de sostenimiento puede comprometer la estabilidad de las labores subterráneas, incrementando el riesgo de colapsos y reduciendo la vida útil de los sistemas aplicados. Además, la acumulación progresiva de contaminantes en zonas de recarga o filtración puede representar una amenaza silenciosa para la calidad del agua a nivel regional.

También se evidencian efectos geomecánicos, en el que se determina cómo el agua subterránea afecta el comportamiento mecánico de las rocas de caja y de los procesos inherentes a la estructura mineralizada. El agua subterránea altera el comportamiento mecánico de las rocas y determina 2 efectos; el más obvio es el que ocurre en la operación: la Ley del Esfuerzo Efectivo; es decir que, el agua bajo presión en las uniones que definen bloques reduce el esfuerzo normal efectivo entre las superficies de las rocas, por lo tanto, reduce la potencial resistencia al corte. En las rocas porosas, como la arenisca, la Ley del Esfuerzo Efectivo tiene un comportamiento igual que al de suelos granulares ya que, el efecto de fisuras, fracturas o poros de agua bajo presión reducen el esfuerzo último del macizo. (Rosado Carhuancho, 2015).

Con respecto a la tipificación hidráulica, se caracteriza por que la hidráulica subterránea trata sobre la física del agua en el medio subterráneo. Por tanto, la hidráulica de captaciones estudia concretamente los efectos producidos por la extracción de agua mediante captaciones (excepcionalmente, inyección de agua a través de las captaciones). (Sánchez San Román, n.d.)

Cabe mencionar que, en un tipo hidrológico, la comprensión del ciclo hidrológico es esencial para el manejo eficiente del agua de lluvia y del agua del suelo. El agua subterránea se mueve muy lentamente a través de los materiales del

subsuelo en dirección del curso de drenaje dominante, el agua que es recogida por una cuenca fluirá hacia el punto de salida más bajo donde puede unirse al agua que emerge de otras microcuencas. (Shaxson & Barber, n.d.)

Las características fisicoquímicas del agua son influyentes; puesto que el agua subterránea natural, como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas, presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas: color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica. dureza, etc. Estas propiedades varían en el espacio y en el tiempo conforme al ambiente en que se encuentran y posible contacto con sustancias químicas a las que se ven expuestas, alterando su composición.

Estos desafíos subrayan la urgencia de realizar un estudio exhaustivo que analice la composición fisicoquímica de las aguas residuales mineras y su interacción con el shotcrete, especialmente debido al riesgo de infiltración de estas aguas a través de las rocas, lo que podría afectar los recursos hídricos cercanos. Solo mediante una comprensión completa de estos procesos será posible implementar estrategias de gestión y tratamiento que protejan el medio ambiente y la salud pública.

En este contexto, cobra importancia no solo el tratamiento de las aguas una vez generadas, sino también la anticipación de sus propiedades químicas mediante una adecuada caracterización. Ello permitiría ajustar las estrategias de sostenimiento y drenaje desde el diseño, minimizando su impacto ambiental y optimizando el desempeño técnico del shotcrete.

En resumen, la descripción de la realidad problemática destaca los desafíos actuales en la gestión de aguas residuales mineras en la Sierra Central del Perú y justifica la necesidad de realizar un estudio en profundidad sobre la caracterización físico-química y la interacción del shotcrete en este contexto.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es la importancia del análisis de la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras, incluyendo su interacción con el shotcrete, en la minería subterránea de la Sierra Central del Perú?

1.1.2.2. Problemas específicos

Para responder a la pregunta del problema general se plantean las siguientes preguntas específicas:

1. ¿Cómo influyen los estudios hidrogeológicos en la comprensión de la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales en la minería subterránea de la Sierra Central del Perú?

2. ¿De qué manera las características geomecánicas de las formaciones rocosas, en interacción con el shotcrete, influyen en la movilidad y filtración de las aguas residuales en las galerías subterráneas?

3. ¿Cómo puede la caracterización de las aguas residuales mineras, junto con la comprensión de la interacción con el shotcrete, contribuir a una gestión más efectiva y sostenible de los recursos hídricos en la minería subterránea de la Sierra Central del Perú?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras en la minería subterránea de la Sierra Central del Perú, así como su interacción con el shotcrete, con el fin de mejorar la gestión y tratamiento de estos efluentes y mitigar los impactos ambientales adversos.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Interpretar los estudios hidrogeológicos detallados para comprender la influencia del flujo de agua subterránea en la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras.

2. Definir las características geomecánicas de las formaciones rocosas y su interacción con el shotcrete, analizando su impacto en la movilidad y filtración de las aguas residuales mineras.

3. Identificar contaminantes y evaluar la composición fisicoquímica de las aguas residuales mineras en la Sierra Central del Perú, considerando la interacción con el shotcrete, para mejorar la gestión sostenible de los recursos hídricos en la minería subterránea.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación Ambiental

La importancia de analizar la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras, junto con su interacción con el shotcrete, en la minería subterránea de la Sierra Central del Perú radica en la necesidad de comprender cómo estas aguas afectan la calidad del agua, la estabilidad de las labores mineras y el medio ambiente circundante.

Una adecuada caracterización fisicoquímica permitirá anticipar procesos de degradación tanto en los materiales de sostenimiento como en los ecosistemas receptores de los efluentes. La interacción entre el shotcrete y las aguas contaminadas puede liberar compuestos que alteren aún más la composición del agua, generando efectos acumulativos sobre el entorno subterráneo y superficial. Por ello, entender esta relación no solo es clave para reducir el riesgo de contaminación, sino también para implementar estrategias preventivas de control ambiental que aseguren la sostenibilidad a largo plazo de las operaciones mineras.

Asimismo, investigaciones han detectado incrementos en la concentración de metales pesados, como el hierro, en las aguas residuales asociadas al uso de shotcrete, lo que subraya la necesidad de una evaluación detallada de estos impactos (González & Pérez, 2020). Estos hallazgos resaltan la urgencia de implementar estrategias de gestión ambiental que consideren la interacción entre los materiales de sostenimiento y las aguas residuales, para prevenir la degradación de los recursos hídricos y proteger la salud de las comunidades cercanas.

Además, investigaciones recientes han señalado que las aguas residuales

mineras, al infiltrarse en los acuíferos confinados, pueden alterar significativamente la calidad del agua subterránea, contaminando las fuentes locales utilizadas por las comunidades. El uso de shotcrete, aunque eficiente en términos operativos, ha mostrado interacciones complejas con los elementos presentes en las aguas residuales, favoreciendo la liberación de metales pesados como el plomo y el zinc, los cuales son tóxicos para los ecosistemas acuáticos y pueden tener efectos adversos en la salud humana (González & Pérez, 2020). Este fenómeno subraya la necesidad urgente de una evaluación más profunda de las características fisicoquímicas de estas aguas, lo cual permitirá diseñar estrategias de mitigación más eficaces y responsables con el entorno (Rosado Carhuancho, 2015). La gestión sostenible de los recursos hídricos en las zonas mineras es crucial para garantizar el bienestar social y prevenir posibles impactos negativos sobre las comunidades cercanas, que dependen de estos recursos tanto para consumo como para sus actividades productivas.

1.3.2. Justificación Social

Con el presente trabajo de investigación se podrá conocer a que nivel realmente existe un impacto ambiental relevante en el área de influencia como resultado de operaciones mineras y su interacción con el sistema hídrico, con lo cual se plantearan recomendaciones y si es factible alternativas de solución.

Además, al comprender la magnitud y los efectos de la interacción entre las aguas residuales mineras y los sistemas hídricos, este trabajo contribuye a la creación de políticas públicas y estrategias empresariales que promuevan la participación activa de las comunidades en la gestión de sus recursos hídricos. Involucrar a las poblaciones locales en el monitoreo y la toma de decisiones sobre la calidad del agua no solo fortalece la confianza social, sino que también fomenta una mayor responsabilidad social corporativa, un aspecto esencial para el desarrollo sostenible en regiones mineras. Con base en los resultados obtenidos, será posible generar un impacto positivo en la calidad de vida de las comunidades, promoviendo prácticas mineras más respetuosas con el entorno y alineadas con el bienestar colectivo.

El estudio de la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras en la Sierra Central del Perú es fundamental no solo desde una perspectiva técnica y ambiental, sino también para comprender el impacto social que las operaciones mineras pueden tener en las comunidades circundantes. A medida que las poblaciones dependen del acceso a agua de calidad para el consumo, la agricultura y sus actividades diarias, la alteración de la composición del agua debido a la actividad minera puede generar conflictos y agravar las condiciones de salud pública en dichas áreas. Según estudios previos, la contaminación por metales pesados y otros compuestos en las aguas residuales mineras puede afectar la biodiversidad local, los recursos acuíferos y, por ende, las fuentes de agua para las comunidades rurales cercanas a las operaciones mineras (González & Pérez, 2020; Rosado Carhuancho, 2015). Este estudio, por lo tanto, no solo proporciona soluciones para la mejora de la calidad del agua, sino que también juega un papel crucial en la prevención de conflictos sociales relacionados con la gestión hídrica y la seguridad alimentaria de las poblaciones.

1.3.3. Justificación Científica

Los estudios hidrogeológicos son esenciales para entender el comportamiento de las aguas subterráneas y diseñar sistemas de tratamiento efectivos. Además, la comprensión de las características geomecánicas de las formaciones rocosas es clave para prevenir riesgos de estabilidad en las labores mineras. En este contexto, la caracterización de las aguas residuales y su interacción con el shotcrete se convierte en una herramienta fundamental para identificar oportunidades que permitan una gestión más efectiva y sostenible de los recursos hídricos, minimizando el impacto ambiental de la actividad minera subterránea.

La integración de las ciencias hidrogeológicas, geomecánicas y fisicoquímicas en este estudio proporciona un enfoque multidisciplinario esencial para entender cómo los factores geológicos y los materiales de sostenimiento, como el shotcrete, influyen en la calidad del agua subterránea. Este enfoque no solo permitirá identificar los contaminantes potenciales, sino también predecir su comportamiento en el tiempo, lo que facilitará la creación de modelos predictivos para futuras operaciones mineras. A partir de estos modelos, se podrán implementar estrategias científicas más precisas y tecnologías innovadoras para optimizar el

tratamiento de aguas residuales y mejorar la sostenibilidad de la minería subterránea, fortaleciendo el compromiso con la protección del medio ambiente y la salud pública a largo plazo (González & Pérez, 2020; Rosado Carhuancho, 2015).

Además, según la investigación de Flórez Salas (2024), el uso de shotcrete en minas subterráneas puede inducir variaciones significativas en parámetros clave como el pH, la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos en las aguas residuales. Estas alteraciones químicas tienen el potencial de comprometer la calidad del agua en acuíferos confinados, afectando tanto la estabilidad de las labores mineras como los ecosistemas circundantes.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La caracterización fisicoquímica detallada de las aguas residuales mineras en la minería subterránea de la Sierra Central del Perú, junto con el análisis de su interacción con el shotcrete, permitirá desarrollar estrategias de gestión y tratamiento más efectivas, lo que contribuirá a mitigar los impactos ambientales adversos y proteger los recursos hídricos cercanos.

1.4.2. Hipótesis especificas

1. La interpretación de los estudios hidrogeológicos detallados revelará la influencia del flujo de agua subterránea en la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras en la Sierra Central del Perú.

2. La definición de las características geomecánicas de las formaciones rocosas y su relación con el shotcrete proporcionará información crucial sobre su impacto en la movilidad y filtración de las aguas residuales mineras.

3. La identificación de contaminantes y la evaluación de la composición fisicoquímica de las aguas residuales mineras, considerando su interacción con el shotcrete, permitirán diseñar medidas de gestión sostenible de los recursos hídricos en la minería subterránea de la Sierra Central del Perú

1.5. Variables

1.5.1. Variable Independiente

Influencia del shotcrete en los efluentes de las operaciones mineras.

1.5.2. Variable Dependiente

Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras.

1.5.3. Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medida
Influencia del shotcrete en los efluentes de las operaciones mineras ***(Variable independiente)***	Uso shotcrete como método de sostenimiento en minería subterránea, cuya aplicación puede generar efectos fisicoquímicos en los efluentes subterráneos.	*- Presencia 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 - % - % por componente
Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras ***(Variable dependiente)***	Análisis de parámetros fisicoquímicos para evaluar la calidad del agua residual y su posible alteración debido al contacto con shotcrete. Incluye también estrategias de monitoreo, control y tratamiento.	*- Presencia y tipo de shotcrete* *- Dosificación aplicada* *- Método de aplicación*	**pH, Conductividad eléctrica (CE), Sólidos disueltos totales (TDS), Concentraciones de SO_4^{2-}, Zn, Fe, Mn**	- Sin unidad (pH) - µS/cm - mg/L - mg/L

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Internacionales

A nivel internacional, países con una larga tradición minera, como Australia y Canadá, han enfrentado desafíos similares en la gestión de las aguas residuales mineras en entornos subterráneos (Smith & Brown, 2019). Estos países han desarrollado tecnologías y prácticas avanzadas para el monitoreo y tratamiento de las aguas residuales, así como para la prevención de filtraciones no deseadas a través de técnicas de estabilización geotécnica. La implementación de modelos hidrogeológicos avanzados ha permitido predecir el comportamiento de las aguas residuales y su interacción con los materiales de sostenimiento, como el shotcrete. Estas prácticas han sido fundamentales para mitigar los impactos negativos en la calidad del agua y la estabilidad de las labores mineras. Además, informes de la Environmental Protection Agency (EPA) destacan que el uso de sistemas de monitoreo en tiempo real y materiales con propiedades reactivas puede reducir la movilidad de contaminantes y mejorar la eficacia de los tratamientos (EPA, 2014; IESC, 2020).

La investigación en países como Sudáfrica ha destacado la importancia de comprender la interacción entre las características geomecánicas de las formaciones rocosas y el shotcrete en la movilidad y filtración de las aguas residuales mineras (Ngwenya et al., 2020). Estudios geotécnicos detallados han permitido mejorar la comprensión de estos procesos y desarrollar medidas efectivas de control y prevención. En este contexto, la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales es esencial para identificar los contaminantes presentes y evaluar su comportamiento en el medio ambiente. La integración de estudios geomecánicos y químicos facilita el diseño de estrategias de gestión más efectivas y sostenibles. El GW-Project (2020) también señala que, en ambientes subterráneos, la difusión de metales pesados está directamente influenciada por la interacción entre el concreto proyectado y los flujos ácidos generados por la actividad minera.

El Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID) ha financiado proyectos de investigación sobre la gestión de aguas residuales mineras

en países en desarrollo, incluyendo estudios de caso en América Latina y África. Estas investigaciones han puesto de relieve la importancia de enfoques integrados que consideren tanto aspectos técnicos como socioeconómicos (CIID, 2020). La colaboración entre instituciones académicas, gubernamentales y comunidades locales ha sido clave para el éxito de estos proyectos. Además, la implementación de tecnologías innovadoras y la capacitación de personal local han contribuido significativamente a mejorar la gestión de las aguas residuales y reducir los impactos ambientales asociados. Airtificial (2021) también reportó que la transferencia tecnológica en operaciones mineras de Perú y Colombia ha permitido fortalecer la resiliencia ambiental mediante soluciones sostenibles basadas en simulación hidráulica e infraestructura verde.

El Instituto de Investigación de Recursos Hídricos de Sudáfrica ha desarrollado modelos numéricos avanzados para simular el flujo de agua subterránea en entornos mineros subterráneos. Estos modelos han sido utilizados para predecir la migración de contaminantes y evaluar la efectividad de diferentes estrategias de gestión de aguas residuales (WRC, 2017). La aplicación de estos modelos ha permitido identificar áreas de alto riesgo y priorizar intervenciones, optimizando el uso de recursos y mejorando la sostenibilidad de las operaciones mineras. Además, la integración de datos en tiempo real ha facilitado la toma de decisiones informadas y la adaptación de estrategias de gestión ante cambios en las condiciones del entorno (SRK Consulting, 2021). Herramientas como MODFLOW y FEFLOW han sido claves en la simulación tridimensional del comportamiento hidrogeológico en minas activas y abandonadas.

El artículo de Smith y Jones (2020), publicado en la revista *Hydrogeology Journal*, presenta un análisis detallado de la caracterización físicoquímica del agua subterránea en minas subterráneas de varios países, incluidos Australia, Canadá y Sudáfrica. Este estudio destaca la importancia de comprender la interacción entre el agua subterránea y los minerales presentes en las formaciones geológicas para prevenir la contaminación y gestionar de manera efectiva los recursos hídricos en entornos mineros. La investigación subraya que la disolución de minerales como el hierro y el manganeso puede alterar significativamente la calidad del agua, afectando su potabilidad y la salud de los ecosistemas acuáticos. Ingenium (2021) también señala que los sulfatos derivados de esta interacción pueden modificar el

equilibrio iónico del agua y afectar los revestimientos de shotcrete en túneles

La investigación realizada por García et al. (2017) en la mina de carbón "Cerro Verde" en Colombia proporcionó información valiosa sobre las características geomecánicas de las formaciones rocosas y su influencia en la estabilidad de las labores mineras. Este estudio subrayó la importancia de realizar análisis geomecánicos detallados para garantizar la seguridad de las operaciones mineras subterráneas y prevenir accidentes relacionados con la filtración de aguas residuales. Los resultados obtenidos permitieron identificar zonas de alto riesgo y proponer medidas de refuerzo estructural, así como estrategias de manejo de aguas para mitigar los impactos negativos. Airtificial (2021) complementa estos hallazgos, destacando la implementación de refuerzos adaptativos mediante análisis de retroalimentación en tiempo real.

En una región minera de carbón en Corea, se exploró la influencia del uso de shotcrete en la estabilización de las excavaciones mineras subterráneas y su relación con la calidad del agua subterránea (Lee, Kim y Choi, 2018). Los hallazgos de este estudio resaltaron la importancia de considerar la interacción entre el shotcrete y las aguas subterráneas en el diseño de estrategias de gestión de aguas en la minería subterránea, especialmente en términos de filtración y contaminación del agua.

Li et al. (2019) realizaron un análisis detallado del agua subterránea en minas de carbón en China, publicado en la revista "Environmental Science and Pollution Research". En su estudio, observaron la presencia de compuestos orgánicos y metales pesados en las aguas residuales mineras, resaltando la necesidad de implementar medidas de tratamiento efectivas para proteger el medio ambiente y la salud humana. Los resultados indicaron que la interacción entre el shotcrete y las aguas residuales puede liberar metales pesados como el plomo y el cadmio, que son altamente tóxicos. Por lo tanto, es esencial realizar una caracterización detallada de la composición química del shotcrete y su interacción con las aguas residuales para diseñar estrategias de mitigación efectivas

Por otro lado, Smith et al. (2018) examinaron el agua subterránea en minas de oro en Sudáfrica, como se detalla en la revista *Journal of Hydrology*. En su

investigación, encontraron altas concentraciones de arsénico y cianuro en las aguas residuales mineras, destacando la importancia de implementar tecnologías de tratamiento avanzadas. Complementando estos hallazgos, Bakatula et al. (2011) caracterizaron las especies de cianuro en un arroyo natural impactado por actividades de minería de oro en la cuenca de Witwatersrand, Sudáfrica. Su estudio reveló que el agua subterránea presentaba un pH bajo y concentraciones elevadas de contaminantes, incluyendo especies secundarias de cianuro como tiocianato, cianato y amonio. Además, identificaron que los complejos metal-cianuro, especialmente los de hierro, dominaban la especiación del cianuro en el agua subterránea. Estos resultados subrayan la complejidad de la contaminación en zonas mineras y la necesidad de estrategias de remediación efectivas.

|La investigación realizada por Brown y Johnson (2016) en minas de cobre en Chile ha examinado el impacto del shotcrete en la estabilidad de las excavaciones mineras y su influencia en la filtración de aguas residuales. Sus resultados sugieren que el shotcrete adecuadamente aplicado puede mejorar la impermeabilización de las galerías y reducir la infiltración de agua en las zonas de trabajo. Asimismo, Kim et al. (2019) analizaron la interacción entre las aguas residuales mineras y el shotcrete en minas chilenas, concluyendo que su composición química puede influir en la movilidad de contaminantes presentes en el agua subterránea, como arsénico o cobre. Este tipo de estudios evidencia la necesidad de considerar la formulación del shotcrete como un factor clave en la gestión hídrica en minería subterránea.

García et al. (2017) llevaron a cabo un análisis en minas de hierro en Brasil, brindando información relevante sobre los efectos de la infiltración de aguas residuales en el entorno ambiental circundante. Sus hallazgos resaltan la necesidad de implementar sistemas de tratamiento adecuados para contrarrestar los impactos negativos de la contaminación del agua en áreas mineras. El estudio identificó que la infiltración de aguas residuales puede aumentar la concentración de metales pesados en los acuíferos, afectando la calidad del agua potable y la salud de las comunidades cercanas. Por lo tanto, es crucial implementar sistemas de tratamiento eficientes y monitorear continuamente la calidad del agua para prevenir estos impactos.

La interacción entre las aguas residuales y los materiales de sostenimiento,

como el shotcrete, ha sido objeto de estudio en varias investigaciones internacionales. Estudios en Australia, Canadá y Sudáfrica han demostrado que las aguas residuales mineras contienen una combinación de compuestos que pueden alterar tanto la calidad del agua como la estabilidad geotécnica de las operaciones mineras subterráneas. Según Zhang et al. (2017), el uso de shotcrete en minas subterráneas puede facilitar la liberación de contaminantes debido a su interacción con el agua, lo que a su vez puede afectar los acuíferos cercanos. Esto subraya la necesidad de un monitoreo exhaustivo de las aguas subterráneas y la implementación de sistemas de gestión sostenible para mitigar la contaminación y preservar la salud ambiental a largo plazo.

En un estudio realizado por Green et al. (2021) en minas de oro en Australia, se observó que la gestión de aguas residuales mineras está estrechamente relacionada con la composición del shotcrete utilizado en las excavaciones subterráneas. Los resultados revelaron que las propiedades fisicoquímicas del shotcrete, como su pH y conductividad eléctrica, pueden alterar la calidad de las aguas residuales. Este hallazgo subraya la necesidad de ajustar las composiciones químicas del shotcrete para minimizar la liberación de contaminantes al agua subterránea y evitar efectos negativos en los ecosistemas.

La investigación de Ngwenya et al. (2020) destaca que las propiedades geomecánicas de las formaciones rocosas en las que se aplica shotcrete pueden influir directamente en el comportamiento de las aguas residuales en minas subterráneas. En su estudio sobre minas en Sudáfrica, los autores concluyen que la composición y la densidad del shotcrete, en interacción con las aguas residuales, tienen un impacto significativo en la movilidad de los contaminantes, especialmente los metales pesados. Además, la presencia de fisuras y fracturas en las rocas puede aumentar la filtración de aguas residuales, lo que compromete tanto la estabilidad de las labores mineras como la calidad de los recursos hídricos subterráneos.

El avance en la tecnología de simulación numérica ha permitido a varios investigadores desarrollar modelos predictivos para evaluar la migración de contaminantes y su impacto en la calidad del agua subterránea en áreas mineras. En un estudio realizado en Brasil, Martínez et al. (2019) utilizaron un modelo numérico para simular el flujo de aguas residuales a través de las formaciones geológicas y el

shotcrete. Los resultados de su investigación revelaron que el uso de técnicas de simulación avanzadas mejora significativamente la capacidad para prever el comportamiento de las aguas residuales y la migración de contaminantes, permitiendo diseñar estrategias más efectivas para la protección de los acuíferos y la gestión del agua subterránea en minería subterránea.

La infiltración de aguas residuales mineras a través de los acuíferos confinados es un problema importante que afecta tanto a las operaciones mineras como al entorno. González et al. (2018) encontraron que la infiltración de aguas residuales provenientes de minas de cobre en Chile tuvo un impacto negativo en la calidad de los acuíferos cercanos. El estudio destacó la presencia de concentraciones peligrosas de metales pesados y compuestos orgánicos, que representaron una amenaza tanto para la salud pública como para los ecosistemas. El estudio recomendó la implementación de tecnologías de tratamiento avanzadas y un sistema de monitoreo continuo como parte de una estrategia integral de mitigación.

Cuéllar (2010), en su tesis de maestría en la Universidad de Chile, aplicó modelos numéricos para simular el impacto del drenaje inducido por operaciones de mina a cielo abierto sobre los niveles freáticos. A través del uso de Visual MODFLOW, se demostró que las operaciones mineras generan una depresión en el nivel del agua subterránea, lo que provoca el ingreso de flujos desde zonas adyacentes hacia la mina. Este fenómeno no solo afecta la estabilidad hidráulica del entorno, sino que también puede modificar la calidad del agua al arrastrar contaminantes de otras áreas. Aunque el estudio se centró en minería superficial, sus hallazgos son extrapolables a escenarios subterráneos donde la alteración del régimen hidráulico puede comprometer tanto la seguridad de las labores como la durabilidad de los materiales de soporte, como el shotcrete.

En un análisis hidrogeoquímico de las aguas subterráneas en la ciudad de Minas, Uruguay, González y Chalar (2020) identificaron la presencia predominante de facies bicarbonatadas cálcicas y magnésicas. Si bien estas características son propias de acuíferos en equilibrio con las rocas carbonatadas, el estudio reveló también concentraciones elevadas de ciertos iones, como nitratos y sulfatos, que superaban los límites permitidos por la normativa nacional para agua potable. Los

autores destacaron que estas alteraciones pueden deberse tanto a procesos naturales como a actividades antrópicas, incluyendo la minería. Esto refuerza la necesidad de controlar la calidad del agua subterránea, particularmente en zonas mineras activas o abandonadas, donde los flujos pueden interactuar con materiales residuales y disolver compuestos que afectan la potabilidad y la salud pública.

La investigación de Vargas y Alarcón (2023) sobre las aguas subterráneas de Sucre, Bolivia, mostró que, aunque los parámetros físico-químicos actuales se mantienen dentro de los límites normativos, existe un riesgo latente asociado a la sobreexplotación de pozos y a la falta de seguimiento técnico. Se advirtió que, sin un monitoreo continuo, es posible que la calidad del agua se degrade en el mediano plazo, especialmente si se considera la expansión urbana y la presencia de actividades mineras cercanas. La investigación también señaló que la geología del área favorece la infiltración de contaminantes desde la superficie hacia el acuífero, lo que pone en evidencia la necesidad de aplicar estrategias de gestión sostenible del recurso hídrico, tanto en contextos urbanos como industriales. Esta situación exige estrategias de monitoreo sostenible y tratamiento avanzado para evitar impactos acumulativos, especialmente en ambientes donde se usan materiales de sostenimiento como el shotcrete.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

La minería subterránea en el Perú ha sido históricamente una actividad económica de gran importancia, especialmente en regiones como la Sierra Central. Esta región se caracteriza por la presencia de yacimientos de metales preciosos y de base, lo que ha generado una considerable cantidad de aguas residuales como subproducto de las operaciones mineras. Estas aguas, si no se gestionan adecuadamente, pueden generar impactos ambientales significativos. Según Pizarro (2019), la actividad minera en esta región ha transformado la dinámica hidrogeológica local, incrementando los riesgos de infiltración de contaminantes en los acuíferos. A su vez, Vargas et al. (2018) identificaron que una caracterización adecuada de estas aguas es esencial para implementar estrategias efectivas de tratamiento y mitigación. Por su parte, el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM, 2020) ha subrayado la urgencia de adoptar enfoques sostenibles para proteger los recursos hídricos en zonas de

influencia minera, debido a la creciente presión sobre acuíferos subterráneos por filtraciones y descargas mal controladas.

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) ha realizado investigaciones centradas en la estabilización de suelos y rocas mediante el uso de shotcrete, como medida de sostenimiento estructural en minería subterránea. Estas investigaciones han demostrado que el shotcrete no solo contribuye a la estabilidad de las excavaciones, sino que también puede influir en la composición química de las aguas residuales generadas, especialmente cuando entra en contacto con aguas subterráneas ácidas o cargadas de metales. Según Flores, González y Ramírez (2020), la interacción química entre el shotcrete y las aguas ácidas puede liberar componentes nocivos como metales pesados, alterando el pH y generando mayores riesgos de contaminación. Asimismo, la UNI (2019) documentó el comportamiento del shotcrete en una mina subterránea mecanizada, subrayando que, sin una caracterización previa de las condiciones hidroquímicas, su eficacia como barrera puede verse reducida. Por otro lado, Mendoza y García (2017) señalaron que una deficiente caracterización de las aguas residuales en operaciones subterráneas limita la capacidad de implementar estrategias eficaces de tratamiento y control ambiental.

García, Pérez y Ramírez (2019), en su estudio realizado en la mina subterránea "Cerro Rico" en Puno, resaltaron la necesidad de aplicar análisis hidrogeológicos y fisicoquímicos exhaustivos para comprender la interacción entre el agua subterránea y los minerales presentes en la zona. Su investigación permitió identificar patrones de movilización de metales pesados, como arsénico y manganeso, y plantear soluciones preventivas y correctivas para mitigar impactos ambientales. En complemento, García-Quintana, López-Arroyo y Olivares-Marín (2020) subrayan que la selección de métodos en minería subterránea debe considerar no solo aspectos geotécnicos y económicos, sino también factores de riesgo ambiental relacionados con la infiltración de aguas contaminadas. Esta visión integral permite desarrollar estrategias más seguras y sostenibles para la explotación minera subterránea.

Un estudio realizado en la mina Cuajone, ubicada en la región de Moquegua, Perú, analizó la calidad del agua en la cuenca del río Torata, considerando la influencia de las actividades mineras. Los resultados indicaron que la geología

subyacente y los procesos de meteorización química son factores determinantes en la composición del agua, más que las operaciones mineras directas. Sin embargo, se observó que las prácticas de gestión del agua en la mina, como la desviación del flujo del río y el manejo de residuos, desempeñan un papel crucial en la mitigación de impactos ambientales (García-Quintana, López-Arroyo, & Olivares-Marín, 2020). Este estudio resalta la importancia de integrar análisis geomecánicos e hidrogeológicos para evaluar el comportamiento de las aguas residuales y anticipar posibles rutas de contaminación en sistemas de sostenimiento como el shotcrete. En este contexto, Fernández-Álvarez, Rodríguez-Reinoso, Rubio-Cintas y Fernández-Martínez (2019) señalan que los parámetros geomecánicos y las condiciones mineras, como la orientación de fracturas y esfuerzos inducidos, influyen directamente en la estabilidad de las excavaciones subterráneas y en el movimiento de fluidos, lo que refuerza la necesidad de una caracterización integral del terreno antes de aplicar materiales de sostenimiento.

La importancia de realizar estudios de caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras en el Perú ha sido reconocida por diversos organismos académicos y gubernamentales. Según Céspedes et al. (2019), el análisis químico de aguas residuales en operaciones mineras subterráneas en la región andina reveló concentraciones elevadas de metales pesados como arsénico, plomo y cadmio, todos ellos con potenciales efectos tóxicos para los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Adicionalmente, Huamán y Chumpitaz (2020) demostraron que cuando estos metales interactúan con materiales cementantes como el shotcrete, se producen reacciones químicas que modifican la movilidad de los contaminantes, facilitando su disolución y transporte en acuíferos subterráneos. En esta línea, Gutiérrez et al. (2018), en un estudio en la mina Antamina, enfatizaron que los sistemas de sostenimiento pueden influir significativamente en la geoquímica del agua circundante, por lo que es fundamental analizar su comportamiento a largo plazo para mitigar riesgos ambientales.

Un estudio reciente evaluó la influencia de las aguas residuales generadas por la aplicación de shotcrete en la calidad del agua subterránea en cinco minas subterráneas de la Sierra Central del Perú. Los resultados indicaron que los aditivos y compuestos presentes en el shotcrete pueden incrementar la concentración de metales disueltos en las aguas subterráneas, afectando su calidad. Este hallazgo

resalta la importancia de considerar la interacción entre el shotcrete y las aguas residuales al diseñar estrategias de sostenimiento y gestión de aguas en la minería subterránea (Sánchez & Rodríguez, 2022).

La falta de una adecuada caracterización fisicoquímica de las aguas residuales en las minas subterráneas de la Sierra Central ha sido una limitación significativa para el diseño e implementación de estrategias efectivas de tratamiento y mitigación de impactos ambientales. Estas aguas, generadas como subproducto de procesos como la perforación, el sostenimiento y la extracción, contienen compuestos que pueden reaccionar químicamente con los materiales de construcción utilizados en las labores mineras. Un caso representativo es el shotcrete, ampliamente empleado como sistema de sostenimiento en túneles y galerías, cuyo contacto prolongado con aguas ácidas o contaminadas puede alterar tanto la estabilidad estructural del soporte como la composición química del agua. Un estudio realizado en la mina Yanacocha, en Cajamarca, Perú, evidenció que las aguas residuales provenientes de labores subterráneas presentaban niveles elevados de metales pesados como cobre, cadmio y plomo. Se identificó que estos elementos se volvían más móviles cuando entraban en contacto con el shotcrete, debido a reacciones de disolución, intercambio iónico y lixiviación acelerada, especialmente en ambientes de bajo pH. Martínez et al. (2021) concluyen que este tipo de interacción puede potenciar la toxicidad del agua subterránea, por lo que se hace imprescindible realizar análisis hidroquímicos detallados y emplear tecnologías de monitoreo en tiempo real, lo cual permitiría ajustar los diseños de sostenimiento y los planes de tratamiento según las condiciones específicas del sitio

En relación con el uso de shotcrete en la minería subterránea, diversas investigaciones han demostrado que este material no solo cumple una función estructural, sino que también puede influir significativamente en la calidad del agua subterránea. La aplicación de shotcrete en zonas de elevada acidez o con presencia de metales pesados puede desencadenar reacciones químicas que alteran el pH del agua y movilizan contaminantes. En un estudio realizado por Fernández-Álvarez et al. (2019), se analizaron los efectos de diferentes parámetros geomecánicos y mineros sobre la estabilidad de obras subterráneas, incluyendo el comportamiento del shotcrete bajo condiciones variables de humedad y composición química. Los resultados mostraron que en ambientes ácidos, el shotcrete puede experimentar

procesos de deterioro por disolución de componentes como el hidróxido de calcio, lo cual facilita la liberación de compuestos metálicos atrapados en su matriz. Este fenómeno no solo compromete la durabilidad del sostenimiento, sino que también puede incrementar la toxicidad del agua circundante, afectando los ecosistemas subterráneos y aumentando el riesgo de contaminación de acuíferos. Por ello, se recomienda una evaluación previa de compatibilidad química entre el shotcrete y las condiciones hidrogeológicas del entorno antes de su aplicación, así como un seguimiento constante de los parámetros de calidad del agua en zonas críticas.

El trabajo liderado por Rodríguez et al. (2016) en la mina de oro "La Rinconada", ubicada en la región de Puno, Perú, puso en evidencia la urgente necesidad de caracterizar en detalle las aguas residuales generadas en operaciones subterráneas. Durante su investigación se realizaron muestreos periódicos del agua subterránea proveniente de galerías activas e inactivas, detectando concentraciones significativas de metales pesados como mercurio, plomo y arsénico, además de un pH ácido persistente. Estos resultados evidenciaron que las condiciones geológicas y geoquímicas del entorno minero, junto con la falta de tratamiento adecuado de los efluentes, contribuyen a la generación de un drenaje ácido de mina (DAM) altamente contaminante. Los investigadores señalaron que, al no existir un control efectivo sobre la calidad de las aguas residuales, estas pueden interactuar con materiales como el shotcrete, degradando su integridad química y liberando aún más metales al sistema hídrico. Este estudio subraya la necesidad de implementar programas de monitoreo permanente y tratamiento específico de aguas, así como de considerar el comportamiento hidroquímico del shotcrete en entornos ácidos para reducir su impacto ambiental.

En la mina de plata "Uchucchacua", ubicada en la región Lima, se han realizado investigaciones enfocadas en la caracterización fisicoquímica de las aguas subterráneas y su interacción con materiales de sostenimiento como el shotcrete. Según Pérez et al (2017), los análisis revelaron la presencia de elevadas concentraciones de sulfatos, hierro, manganeso y otros metales disueltos en el agua de galerías profundas, especialmente en zonas con intensa aplicación de shotcrete. Se determinó que los componentes del shotcrete, al entrar en contacto con soluciones ácidas o contaminadas, pueden experimentar lixiviación, generando un aumento de sólidos disueltos totales y alteraciones en el pH. Además, el estudio

resaltó que las condiciones de ventilación y humedad relativa en las galerías también influyen en la velocidad de deterioro del shotcrete, lo que puede agravar la movilidad de contaminantes. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de considerar la interacción química entre los materiales de construcción y el ambiente hidrogeológico circundante, con el fin de implementar estrategias de sostenimiento más sostenibles y reducir la carga contaminante de las aguas residuales en minería subterránea.

Fernández y Gómez (2019) realizaron un estudio en la mina de oro "Pucamarca", ubicada en la región de Tacna, con el objetivo de evaluar la efectividad del shotcrete en la reducción de la infiltración de aguas residuales hacia las labores subterráneas. A través de monitoreos de humedad, presión de poros y análisis de flujo, se determinó que un adecuado diseño y aplicación del shotcrete puede disminuir significativamente la permeabilidad de las paredes de túneles y galerías, actuando como una barrera física frente al ingreso de agua contaminada. Además, el estudio destacó que la resistencia del shotcrete se ve influenciada por factores como la proporción de aditivos impermeabilizantes, el espesor aplicado y la calidad del soporte rocoso. En zonas con alta carga hídrica, se observó que la aplicación de shotcrete reforzado con fibras metálicas incrementó la durabilidad del sostenimiento y mejoró la contención de fluidos. Estos hallazgos sugieren que, si se diseña adecuadamente, el shotcrete puede contribuir no solo a la estabilidad geomecánica, sino también a la eficiencia de la gestión hídrica en minería subterránea.

Además de los estudios previos, investigaciones recientes han resaltado la importancia de realizar análisis integrales sobre las características fisicoquímicas de las aguas residuales mineras para una adecuada gestión y tratamiento. En un estudio realizado por Alvarado et al. (2021) en la mina de plata "Santa Luisa", ubicada en la región Áncash, se encontró una correlación directa entre los componentes del shotcrete utilizado como sostenimiento y la presencia de contaminantes como arsénico, plomo y cadmio en las aguas subterráneas circundantes. A través de ensayos de lixiviación acelerada y modelamiento geoquímico, se evidenció que ciertas formulaciones de shotcrete, en contacto con aguas con pH ácido, pueden liberar metales atrapados en su matriz debido a procesos de disolución y difusión. Estos hallazgos advierten que el uso

indiscriminado de shotcrete sin una evaluación previa de compatibilidad química puede incrementar la carga contaminante del sistema hídrico. El estudio concluye que es fundamental ajustar las proporciones de aditivos y cementos en la mezcla de shotcrete según las condiciones geológicas e hidroquímicas del entorno, e incorporar tecnologías de tratamiento pasivo y monitoreo en tiempo real para mitigar riesgos ambientales.

Torres et al. (2019) realizaron una investigación en la mina "La Zanja", ubicada en la región Cajamarca, Perú, con el objetivo de analizar el impacto del uso de shotcrete en la calidad del agua subterránea y las estrategias adoptadas para mitigar su contaminación. El estudio incluyó análisis de campo y laboratorio, donde se evaluó la interacción entre los componentes del shotcrete y el agua de infiltración que circulaba por las fracturas del macizo rocoso. Se observó que, si bien el shotcrete contribuía a mejorar la estabilidad estructural de las labores mineras, en algunas zonas con alta acidez o presencia de drenaje ácido de mina (DAM), este material podía sufrir degradación superficial, liberando productos de hidratación del cemento como calcio y sílice. Estos compuestos, a su vez, alteraban el equilibrio iónico del agua, afectando su calidad. Como medida correctiva, la mina implementó un sistema de tratamiento de aguas mixto, basado en procesos físico-químicos (precipitación de metales) y biológicos (reactores anaerobios pasivos), con resultados positivos en la reducción de carga contaminante. El estudio concluye que la gestión de aguas en minería subterránea debe considerar la interacción química de los materiales de sostenimiento, como el shotcrete, y aplicar soluciones integrales adaptadas a cada entorno hidrogeológico.

Paredes y Gálvez (2008) realizaron una caracterización hidrogeológica en la Unidad Minera Santa Rosa, operada por COMARSA en La Libertad, Perú. Identificaron la existencia de dos acuíferos principales: uno fisurado y otro de tipo kárstico, ambos altamente vulnerables a la contaminación debido a las condiciones geológicas locales. Se documentó la presencia de drenaje ácido de mina (DAM) en antiguos tajos abiertos con valores de pH entre 3.0 y 3.8, lo cual indica un entorno químico agresivo capaz de disolver metales pesados y afectar la estabilidad de estructuras de sostenimiento como el shotcrete. Este estudio refuerza la necesidad de implementar sistemas de monitoreo continuo y tratamientos específicos de aguas contaminadas en zonas subterráneas, dado que la interacción entre las aguas ácidas

y los materiales constructivos puede comprometer la durabilidad del sostenimiento e incrementar los riesgos ambientales.

Rodríguez Trujillo (2021) llevó a cabo un análisis hidrogeológico detallado en la zona Catuva de la mina Raura, ubicada en los Andes Centrales del Perú. Su investigación evidenció que los caudales de ingreso de agua subterránea aumentan considerablemente durante la temporada de lluvias, debido a la infiltración a través de fracturas del sistema kárstico. Este fenómeno representa un reto para la estabilidad de las labores subterráneas, ya que puede generar socavamiento, inundaciones y comprometer la adherencia del shotcrete en paredes y techos. El autor recomienda establecer un sistema de drenaje eficiente y fortalecer el sostenimiento con formulaciones de shotcrete resistentes a ambientes húmedos y agresivos. Asimismo, subraya la importancia de anticipar estos riesgos mediante estudios de vulnerabilidad hídrica y monitoreo constante del comportamiento del agua en el macizo rocoso.

Paredes Trujillo (2016) desarrolló un estudio geoquímico en la unidad minera Orcopampa, donde evaluó el potencial de generación de drenaje ácido de mina (DAM) mediante el análisis de minerales sulfurados como pirita y arsenopirita. Se concluyó que estas litologías, al entrar en contacto con el agua subterránea, generan condiciones ácido-minerales que promueven la disolución de metales pesados como el hierro, zinc y cadmio. Este entorno ácido no solo representa un riesgo ambiental, sino que también afecta directamente a los materiales de sostenimiento como el shotcrete, reduciendo su vida útil y estabilidad estructural. El estudio recomienda adoptar prácticas de prevención como el encapsulamiento de zonas reactivas, la aplicación de barreras químicas pasivas y el uso de mezclas de shotcrete resistentes a la acidificación.

2.2 Bases Teóricas

La creciente demanda de recursos minerales a nivel mundial responde al incremento sostenido en sectores como la tecnología, la construcción, la industria energética y la transición hacia una economía verde. Este fenómeno ha motivado la expansión de proyectos mineros en zonas cada vez más complejas geológicamente, así como el aprovechamiento de depósitos de menor ley mediante tecnologías más avanzadas (Zhou et al., 2021). En particular, metales como el litio, el cobalto y el cobre han adquirido una relevancia estratégica para la producción de baterías, vehículos eléctricos e infraestructura energética, lo que ha intensificado las actividades de prospección y explotación mineral en países latinoamericanos, incluyendo el Perú (Barrera & Amador, 2023). Esta situación genera nuevos desafíos ambientales y sociales, ya que el desarrollo minero en regiones sensibles exige mayores estándares de sostenibilidad, gestión hídrica y mitigación de impactos acumulativos (Valenta et al., 2020; Sovacool et al., 2020).

Para comprender mejor las implicancias ambientales de la actividad minera, es necesario examinar los diversos métodos de explotación utilizados por la industria. La minería puede realizarse a cielo abierto o en el subsuelo, y cada uno de estos métodos presenta desafíos únicos en términos de manejo de aguas residuales, alteración del paisaje y estabilidad geotécnica (Hustrulid et al., 2019). Además, técnicas como la lixiviación o la flotación, empleadas en el procesamiento del mineral, pueden generar efluentes con altas concentraciones de metales pesados y otros compuestos químicos, afectando tanto cuerpos de agua superficiales como subterráneos (Koehler et al., 2021). La minería subterránea, en particular, requiere especial atención debido a la interacción entre los sistemas de sostenimiento, como el shotcrete, y el entorno hidrogeológico, lo que puede influir significativamente en la calidad del agua y la durabilidad de las estructuras minera

En el contexto de la minería subterránea, el sostenimiento de las excavaciones es esencial para garantizar la estabilidad estructural y la seguridad del personal. Entre los métodos de sostenimiento más empleados se encuentra el shotcrete, también conocido como concreto lanzado, que consiste en la proyección neumática de una mezcla de cemento, agregados, agua y aditivos sobre las paredes y techos de las labores mineras. Su función principal es ofrecer soporte inmediato

a las superficies expuestas, especialmente en zonas con condiciones geomecánicas desfavorables (Hoek et al., 2000). El shotcrete puede aplicarse mediante técnicas húmedas o secas, y su desempeño depende en gran medida de la calidad de los materiales, la dosificación y el método de aplicación utilizado (Falk, 2020). Además de su capacidad estructural, se ha observado que el shotcrete puede interactuar químicamente con el entorno húmedo de las minas, afectando tanto su durabilidad como la composición del agua en contacto con él (Lee et al., 2018). Por ello, su selección y evaluación deben considerar no solo parámetros mecánicos, sino también aspectos hidroquímicos relevantes para la gestión ambiental subterránea.

Para avanzar con una investigación rigurosa en minería subterránea, resulta esencial recopilar información detallada sobre la geología local, los estudios hidrogeológicos y la caracterización geomecánica de las unidades mineras analizadas. Estos aspectos son fundamentales para comprender el comportamiento del macizo rocoso, los patrones de flujo del agua subterránea y los riesgos asociados a la interacción de estos elementos con materiales de sostenimiento como el shotcrete. Según Fetter (2001), una adecuada evaluación hidrogeológica permite determinar el nivel freático, las zonas de recarga y descarga, así como el potencial de contaminación de los acuíferos. Por otro lado, Hoek y Brown (1997) sostienen que el análisis geomecánico del macizo rocoso, incluyendo parámetros como la resistencia al corte, el grado de fracturamiento y el estado de esfuerzos, es imprescindible para el diseño de sistemas de soporte seguros y duraderos. La integración de estos estudios no solo optimiza la planificación minera, sino que también permite anticipar problemas de estabilidad o drenaje, contribuyendo a una operación más segura y sostenible (Palmström & Broch, 2006).

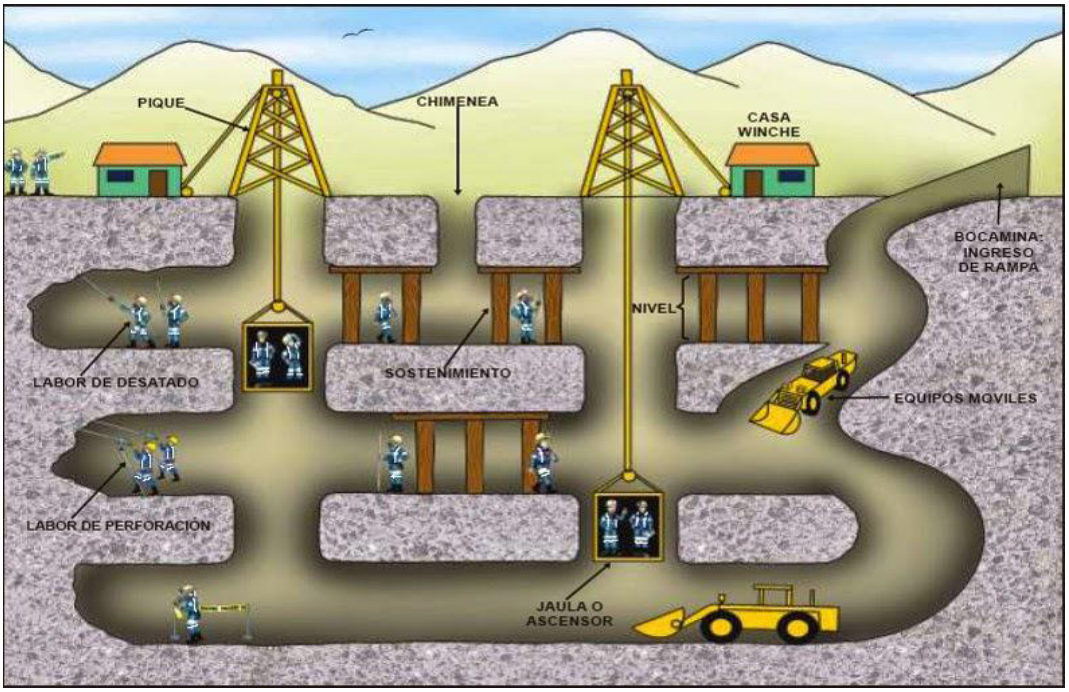
2.2.1. Minería Subterranea y sus caracteriticas

La minería subterránea es una práctica de extracción de minerales que se lleva a cabo bajo la superficie terrestre, utilizando túneles, galerías y otras estructuras subterráneas para acceder a los yacimientos minerales. Este método presenta ventajas significativas en términos de seguridad para los trabajadores, ya que reduce la exposición a riesgos como colisiones de vehículos y caídas de rocas, comunes en la minería a cielo abierto (Zhang et al., 2019). Además, permite la explotación de depósitos que no son económicamente viables mediante minería

superficial, lo cual optimiza el aprovechamiento de recursos minerales (García-Quintana et al., 2020).

Figura 1

Esquema Minería Subterránea



Nota. Adaptado de Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. (2002)

Esta técnica se distingue por requerir una infraestructura compleja y una planificación meticulosa, ya que implica condiciones operativas más exigentes. Los túneles y galerías deben mantenerse estables mediante sistemas de sostenimiento, mientras que la ventilación y el control de aguas subterráneas son aspectos críticos para la seguridad y la eficiencia (Hustrulid et al., 2013). Si bien los costos operativos suelen ser mayores que en la minería a cielo abierto, la selectividad y la menor huella ambiental justifican su elección en determinados contextos (Kecojevic & Komljenovic, 2011).

Además, el desarrollo de tecnologías modernas ha permitido la mejora de prácticas de sostenimiento en ambientes complejos. Sistemas como el shotcrete proyectado y los anclajes mecanizados son fundamentales para mantener la integridad estructural, especialmente en formaciones geomecánicamente débiles (Hoek & Brown, 2018).

Además del enfoque en productividad y seguridad, la minería subterránea

ha evolucionado significativamente gracias al uso de tecnologías digitales como la modelación geotécnica 3D, el monitoreo en tiempo real y la automatización de equipos. Estas herramientas permiten una evaluación más precisa del comportamiento del macizo rocoso y de las condiciones ambientales subterráneas, facilitando decisiones operativas informadas y una mayor eficiencia en la explotación (Li et al., 2022). La implementación de sensores geotécnicos, cámaras térmicas y sistemas de ventilación inteligente ha mejorado la gestión del riesgo en minas profundas, especialmente frente a fenómenos como subsidencias, colapsos y emisiones de gases peligrosos (Paraszczak et al., 2021). Este panorama destaca la necesidad de integrar conocimientos geomecánicos, tecnológicos y ambientales para una operación subterránea sostenible y resiliente.

Tabla 1

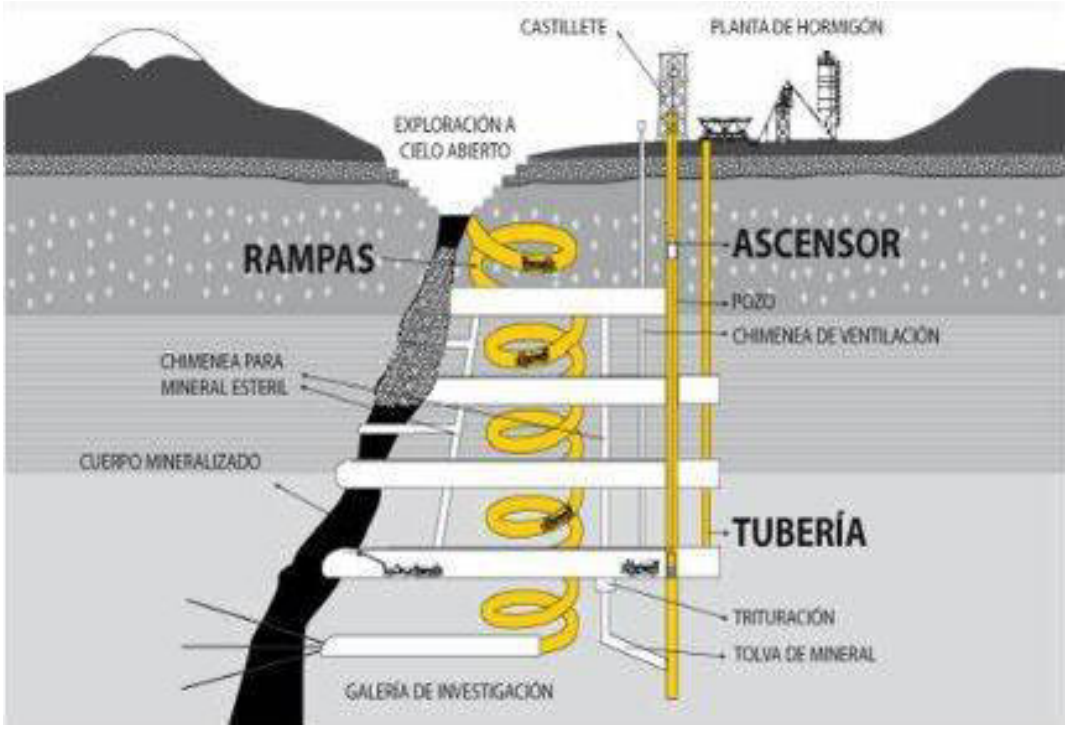
Comparación minería Subterránea vs Cielo abierto

Característica	Subterránea	Cielo Abierto
Costos de operación	Altos	Moderados a bajos
Impacto ambiental	Bajo a moderado	Alto
Seguridad laboral	Mayor riesgo de condiciones geológicas	Riesgo por maquinaria pesada
Infraestructura requerida	Compleja y especializada	Más sencilla

Nota: Elaboración propia

Figura 2

Mineria a Cielo Abierto vs Mineria Subterranea



Nota. Adaptado de INAIGEM (2020).

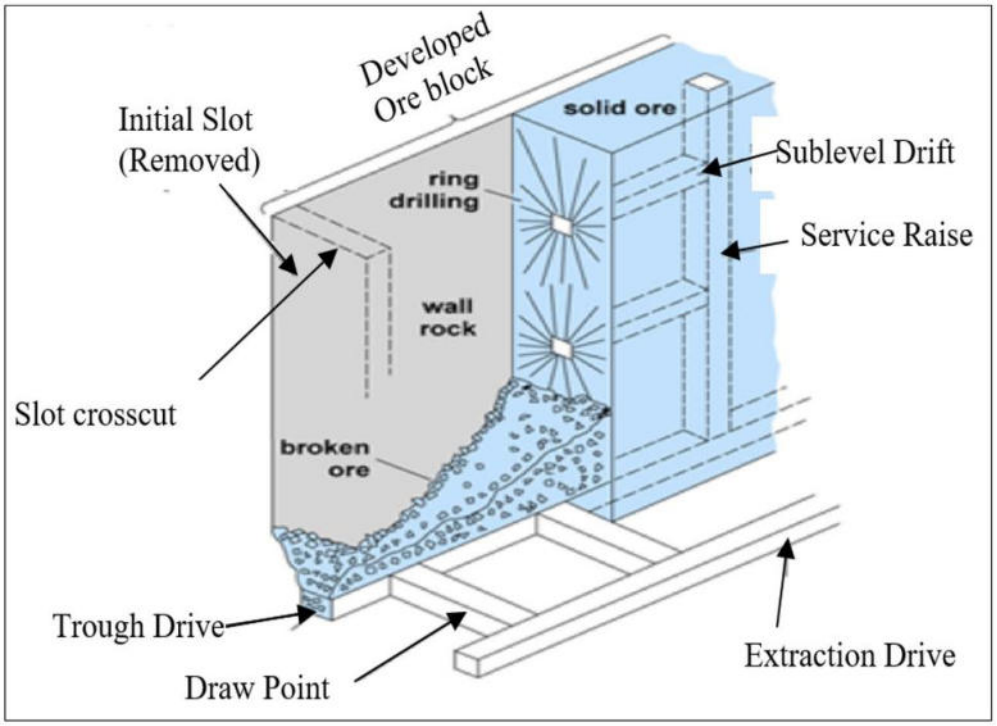
2.2.2. Métodos de Explotación Subterránea en la Sierra Central del Perú

La selección del método de explotación en minería subterránea depende de variables como la geometría del yacimiento, las características geomecánicas del macizo rocoso, los costos operativos y los impactos ambientales. En la Sierra Central del Perú, regiones como Junín y Pasco presentan condiciones geológicas complejas, con estructuras vetiformes y yacimientos de alta inclinación que favorecen la aplicación de métodos como el **corte y relleno ascendente**, el **sublevel stoping** y el **hundimiento por subniveles**.

El corte y relleno ascendente permite excavar el mineral en tajos horizontales que se rellenan progresivamente, proporcionando soporte estructural y control de subsidencia (Hustrulid, Bullock, & Hustrulid, 2019). El método de **sublevel stoping**, por otro lado, es ampliamente utilizado en cuerpos minerales masivos y de buena continuidad, optimizando la perforación y voladura desde niveles superiores, con extracción por gravedad (Hartman & Mutmansky, 2002).

Figura 3

Método de explotación Sublevel Stoping



Nota. Adaptado de Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. (2002)

Finalmente, el **sublevel caving** es empleado en yacimientos de gran volumen pero de menor ley, en los cuales el colapso controlado del macizo permite fragmentar tanto el mineral como la roca estéril, facilitando su recuperación mediante cargadores de bajo perfil (Laubscher, 1994).

En minas como El Porvenir, Atacocha, Andaychagua, San Cristóbal y Carahuacra, es frecuente la coexistencia de múltiples métodos de explotación subterránea, ajustados a las condiciones estructurales y litológicas locales. Estas operaciones combinan técnicas como corte y relleno ascendente, sublevel stoping y hundimiento por subniveles, de acuerdo con las características de cada sector del yacimiento. Para su selección, se requiere un estudio geotécnico integral y modelamiento numérico de estabilidad, que permita predecir el comportamiento del macizo rocoso durante las fases de minado (Valenzuela & Buendía, 2020). Además, la creciente mecanización de estas operaciones ha impulsado el uso de jumbos de perforación y equipos LHD en labores medianas y profundas, incrementando la eficiencia en métodos como el sublevel stoping (García-Quintana, López-Arroyo, & Olivares-Marín, 2020).

Tabla 2

Métodos de explotación subterránea usados en minas de la sierra central

Método de Explotación	Descripción Breve	Condición Geológica Ideal	Minas donde se aplica
Corte y relleno ascendente	Excavación en tajos horizontales ascendentes con relleno posterior	Vetas inclinadas y de espesor variable	El Porvenir, San Cristóbal, Carahuacra
Sublevel stoping	Perforación desde subniveles, con extracción por gravedad	Cuerpos masivos de buena continuidad	El Porvenir, Atacocha, San Cristóbal, Andaychagua, Carahuacra
Hundimiento por subniveles	Colapso controlado del techo con recuperación en niveles inferiores	Yacimientos masivos de baja ley	Aplicado en zonas específicas de El Porvenir, Andaychagua
Cámaras y pilares	Cámaras intercaladas con pilares de soporte mineral	Horizontales o poco inclinadas, roca competente	Menos común en la Sierra Central, usado en vetas secundarias, San Cristóbal,

Nota. Elaboración propia

2.2.3. Características Geomecánicas

Las características geomecánicas en la minería subterránea son fundamentales para evaluar la estabilidad de las excavaciones y prevenir accidentes. Incluyen el análisis de la resistencia de las rocas circundantes, la presión de las capas superpuestas, la orientación y extensión de las fracturas, y la presencia de fallas geológicas (Hoek & Brown, 1997). La comprensión de estos factores permite diseñar sistemas de sostenimiento adecuados, como el shotcrete, pernos de anclaje

o mallas metálicas, reforzando las excavaciones y protegiendo la integridad estructural de túneles y galerías (Fuenmayor & Paredes, 2020).

La formación geológica condiciona la presencia de materiales duros o de baja resistencia. Las discontinuidades, como las fallas y diaclasas, pueden actuar como planos de debilidad que facilitan movimientos, afectando negativamente la estabilidad (Díaz Ipenza & Vidal Colchado, 2015). Según González de Vallejo y Ferrer (2002), los principales factores que influyen en el comportamiento geomecánico del macizo rocoso incluyen:

- La litología y propiedades de la matriz rocosa
- La estructura geológica y las discontinuidades
- El estado de esfuerzos al que está sometido el material
- El grado de alteración o meteorización
- Las condiciones hidrogeológicas

Para clasificar y evaluar la masa rocosa, se emplean sistemas como el Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski, que considera cinco parámetros: resistencia de la roca intacta, RQD, espaciado de discontinuidades, condiciones de las discontinuidades y presencia de agua subterránea. Esta clasificación, que otorga una puntuación de 0 a 100, permite establecer de manera empírica los requerimientos de sostenimiento (Bieniawski, 1989; Celada et al., 2014). En la mina subterránea de Atacocha (Pasco), el uso del sistema RMR ha permitido clasificar sectores con litologías de tipo andesítica como de “mala calidad”, exigiendo el uso de shotcrete reforzado con fibras y pernos Split Set de 2.4 m cada 1.5 m (UNI, 2019). Además, el RMR básico puede ser ajustado con correcciones relacionadas con el buzamiento de discontinuidades, paralelismo con taludes o método de excavación empleado (Tomás et al., 2004).

También es común el uso del sistema Q de Barton, que incorpora el índice de calidad del macizo, las condiciones ambientales y la necesidad de soporte, proporcionando recomendaciones complementarias al RMR (Barton & Grimstad, 1994).

Tabla 3

Tabla de clasificación geomecánica RMR adaptada con sostenimiento

Tipo de roca	Rango RMR	Rango Q	Calidad según RMR	Color	Recomendación general de sostenimiento
II	61 – 100	> 5.92	Buena		Shotcrete delgado o sostenimiento mínimo
IIIA	51 – 60	1.95 – 5.92	Regular A		Shotcrete + malla metálica y pernos de anclaje
IIIA	41 – 50	0.64 – 1.95	Regular B		Shotcrete + refuerzo local
Tipo de roca	**Rango RMR**	**Rango Q**	**Calidad según RMR**	**Color**	**Recomendación general de sostenimiento**
IVA	41 – 50	0.21 – 0.64	Mala A		Shotcrete reforzado + anclajes sistemáticos
IVB	21 – 30	0.08 – 0.21	Mala B		Shotcrete estructural + anclajes + drenaje
V	0 – 20	< 0.08	Muy mala		Sostenimiento intensivo (shotcrete grueso + malla + soporte estructural adicional)

Nota. Adaptado de Bieniawski (1989)

Estas características geomecánicas no solo definen la seguridad estructural de las labores mineras, sino que también influyen directamente en la selección de materiales de sostenimiento como el shotcrete, cuya eficacia dependerá del entorno rocoso al que se aplica.

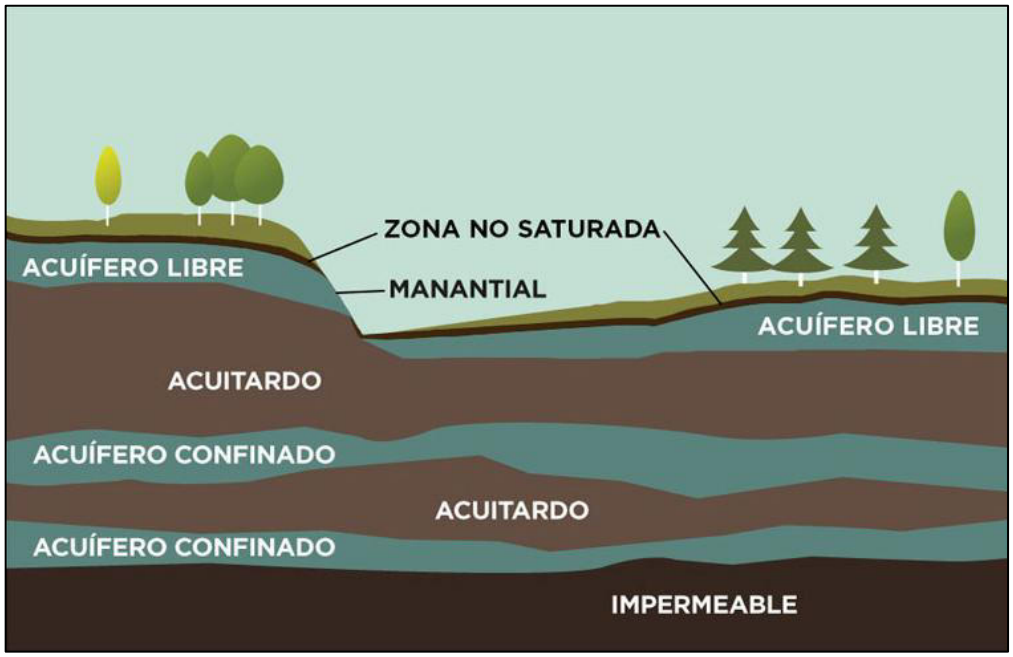
2.2.4. Estudios hidrogeológicos

Los estudios hidrogeológicos son fundamentales en minería subterránea, ya que permiten comprender la **distribución, flujo y calidad del agua subterránea** en el entorno minero. Esta información es clave para diseñar sistemas de drenaje,

evitar inundaciones y minimizar los riesgos geotécnicos asociados a la presencia de agua (Fetter, 2001).

Figura 4

Esquema de acuíferos libres y confinados en un perfil hidrogeológico



Nota. Adaptado de Fetter, C. W. (2001). Applied Hydrogeology (4th ed.). Prentice Hall.

Dichos estudios incluyen la identificación de acuíferos, la determinación del nivel freático, la evaluación de parámetros hidroquímicos y la caracterización de la interacción entre el agua y las estructuras mineras. En el contexto peruano, especialmente en unidades mineras de la Sierra Central como **Atacocha y San Cristóbal**, se han implementado programas de monitoreo hídrico continuo para asegurar el cumplimiento de los **Estándares de Calidad Ambiental (ECA)** y mitigar los efectos de las aguas ácidas sobre las labores mineras y el sostenimiento (Florez et al., 2020).

Una adecuada caracterización hidrogeológica permite prever zonas de **alta infiltración o presurización**, que podrían comprometer la estabilidad del sostenimiento, especialmente en macizos rocosos fracturados o alterados (Molinda et al., 2003). Asimismo, posibilita el diseño de soluciones de drenaje activas y pasivas, mejorando la sostenibilidad operativa.

Entre los principales **parámetros fisicoquímicos** evaluados se encuentran:

a) pH

El pH es una de las pruebas más comunes para conocer parte de la calidad del agua. El pH indica la acidez o alcalinidad en este caso del agua, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno (H+). Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, siendo así considerado neutro, aquellas que alcancen un valor igual a 7.0, acidas las que tengan valores menores de 7.0 y alcalinas aquellas que presenten un valor por encima de 7.0. Valores extremos pueden promover la **corrosión del shotcrete** o disolver metales pesados presentes en el entorno (ANA, 2019; Kim et al., 2019).

Tabla 4

Clasificación de pH

pH	CLASIFICACIÓN
pH = 7	Neutra
pH < 7	Agua ácida
pH > 7	Agua alcalina

Nota. Elaboración propia

b) Conductividad Eléctrica

La medición de la conductividad eléctrica es un método fiable, rápido, y que permite relevar fácilmente desde la superficie del suelo, la profundidad a la que se encuentran capas de distinta conductividad (Corwin y Lesch 2010; Moral et al., 2010). Es la habilidad de un material para conducir una corriente eléctrica, al ser medida directamente del suelo mediante métodos geofísicos, se denomina conductividad eléctrica aparente (CEa), a diferencia de la que se mide, por ejemplo, a partir del extracto de saturación (CEe) (Rhoades et al, 1999).

La conductividad eléctrica (C.E) es la propiedad que tiene el agua de conducir la corriente eléctrica. Depende de varios factores, principalmente de la concentración y tipo de sales ionizables disueltas, naturaleza, carga de iones formados y de la temperatura. (ANA, 2018), en la Tabla xx se evidencia la clasificación por conductividad eléctrica.

Tabla 5

Clasificación de Conductividad Eléctrica

AGUAS DULCES			AGUAS SALOBRES	AGUAS SALADAS
Mineralización baja 0.1 - 0.25 dS/m	Mineralización media 0.25 - 0.75 dS/m	Mineralización alta 0.75 - 2.0 dS/m	Mineralización muy alta 2.0 - 7.0 dS/m	- 7.0 dS/m

Nota. Elaboración propia

c) Sólidos Totales Disueltos

La caracterización de las aguas de acuerdo a su salinidad está basada en la concentración de los Sólidos Disueltos Totales (SDT). El total de sólidos disueltos (a menudo abreviado como TDS, del inglés: Total Dissolved Solids) es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión micro-granular (sol coloide) (ANA, 2018). Los SDT representan el total de sales, minerales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua. Se mide en ppm (partes por millón). Valores altos pueden afectar tanto los ecosistemas como los componentes estructurales de la mina, incluyendo el shotcrete (ANA, 2018; Hindawi, 2023)

Tabla 6

Clasificación de Solidos Totales Disueltos

AGUA DULCE	AGUA SALOBRE	AGUA SALINA	AGUA HIPERSALINA	SALMUERA
0-1500 ppm	1500-10000 ppm	10000-34000 ppm	34000-36000 ppm	36000-70000 ppm

Nota. Elaboración propia

Estos parámetros, junto con otros como la demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD) y metales pesados, permiten construir un perfil

hidroquímico completo del entorno minero. Este perfil es esencial para evaluar la interacción entre las aguas subterráneas y el shotcrete, ya que ciertas condiciones, como el pH ácido o la alta salinidad, pueden debilitar las propiedades mecánicas y la adherencia del concreto proyectado (López et al., 2019)

d) Oxígeno Disuelto y DQO

El oxígeno disuelto (OD) indica la cantidad de oxígeno disponible en el agua, clave para procesos de oxidación de metales. La demanda química de oxígeno (DQO) refleja la cantidad de materia orgánica oxidada químicamente. Niveles altos de DQO pueden indicar contaminación y riesgo de corrosión química acelerada (García et al., 2019).

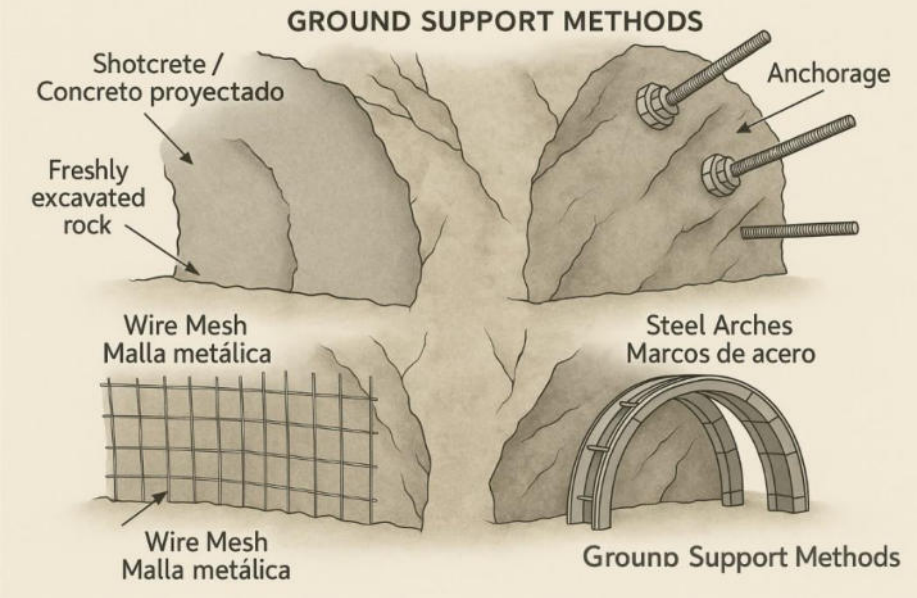
Estos parámetros permiten construir un perfil hidroquímico completo, que ayuda a anticipar la agresividad del agua sobre materiales de sostenimiento. Condiciones como bajo pH, alta salinidad o elevada DQO pueden reducir la durabilidad del shotcrete, favorecer su lixiviación, y generar fallas prematuras (López et al., 2019; Kim et al., 2019).

2.2.5. Métodos de Sostenimiento en Minería Subterránea

El sostenimiento en minería subterránea es fundamental para garantizar la estabilidad de las excavaciones, proteger la vida del personal y mantener la operatividad continua de las labores. Su selección depende de factores como el método de explotación, las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, la presencia de agua subterránea y la profundidad de la mina (Hoek & Brown, 1997; Singh & Goel, 2011). Además, de acuerdo con Brady & Brown (2006), un diseño de sostenimiento efectivo debe considerar no solo la resistencia del soporte, sino también la interacción tiempo-deformación del macizo, especialmente en zonas profundas o altamente fracturadas, donde los esfuerzos inducidos pueden evolucionar rápidamente

Figura 5

Métodos de sostenimiento del macizo rocoso



Nota. Elaboración propia

Los métodos de sostenimiento se clasifican en **pasivos** y **activos**. Los pasivos, como marcos de acero o madera, resisten cargas sin intervenir directamente en la movilidad del macizo. En cambio, los activos (por ejemplo, pernos o concreto proyectado) buscan estabilizar la masa rocosa restringiendo su deformación (Tannant, 2001).

Figura 6

Malla electrosoldada en Galería subterránea



Nota. Imagen referencial de operaciones subterráneas

Tabla 7

Principales métodos de sostenimiento utilizados

Método de Sostenimiento	Descripción	Aplicación Típica
Shotcrete	Concreto proyectado que se adhiere directamente al macizo rocoso.	Áreas fracturadas, frentes expuestos.
Pernos de anclaje	Varillas metálicas que se insertan en la roca para generar cohesión	Galerías medianas/profundas.
Mallas metálicas	Se colocan sobre el macizo para contener fragmentos sueltos.	En combinación con shotcrete/pernos.
Marcos de acero o madera	Sostenimiento estructural en secciones amplias.	Túneles principales o de gran sección.
Arcos prefabricados	Elementos modulares de soporte para alta carga.	Labores en roca blanda o alterada.

Nota. Elaboración propia

2.2.5.1. Relación con métodos de explotación

La elección del sostenimiento está estrechamente vinculada al método de explotación. Por ejemplo:

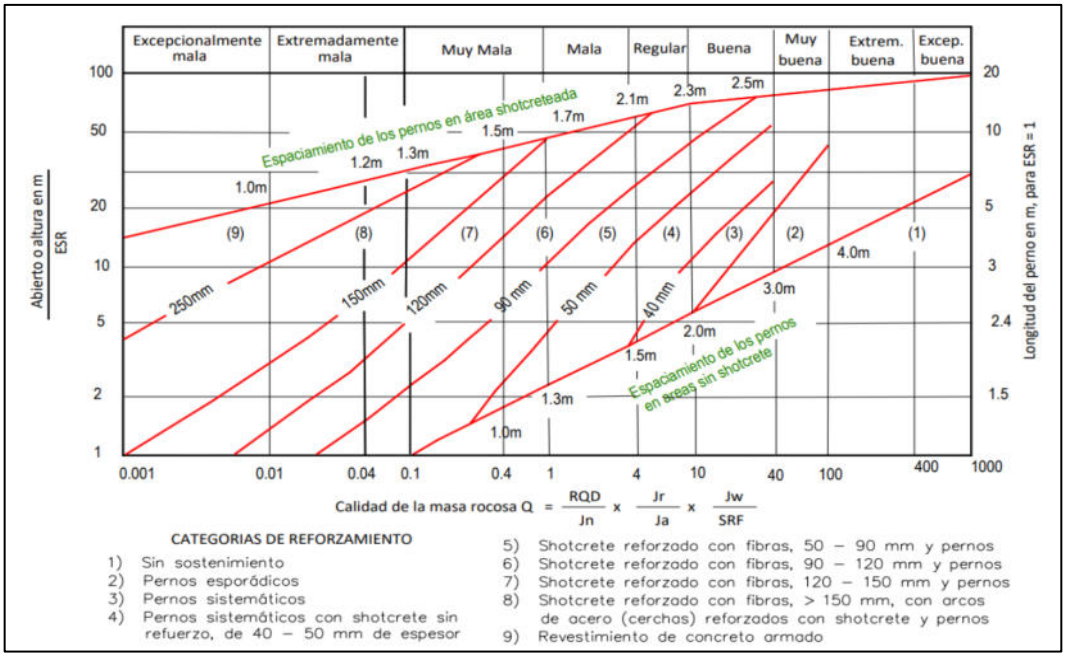
- Métodos como Sublevel Stoping o Sublevel Caving, que implican fragmentación masiva del macizo, requieren combinaciones de shotcrete + pernos para evitar colapsos.
- Corte y Relleno Ascendente permite un sostenimiento progresivo, aplicando shotcrete conforme se eleva la labor, muchas veces apoyado por relleno cementado (Brady & Brown, 2004).

- En métodos con cámaras y pilares, la estabilidad se garantiza dejando pilares naturales, pero aún así se usa sostenimiento adicional en techos con fracturación intensa.

En el Perú, operaciones como El Porvenir, Andaychagua o San Cristóbal emplean sostenimientos mixtos: shotcrete proyectado en vía húmeda reforzado con fibras, pernos Split Set de 2.4 m cada 1.5 m y mallas metálicas soldadas en zonas de subsidencia (Valencia & Salazar, 2018; UNI, 2019).

Figura 7

Guía para el sostenimiento de excavaciones permanentes



Nota. Recuperado de Grimstad y Barton (1993).

2.2.5.2. Influencia de las condiciones hidrogeológicas

El diseño del sostenimiento también debe considerar la interacción con el agua subterránea. Ambientes con alto contenido de humedad, acidez o salinidad pueden acelerar procesos de lixiviación del concreto, corrosión de pernos metálicos o desprendimiento de fragmentos. Por ello, se incorporan:

- Drenajes tipo geodren o tuberías ranuradas detrás del shotcrete.
- Fibras plásticas resistentes a ambientes ácidos (Kim et al., 2019).
- Aditivos impermeabilizantes o inhibidores de corrosión.

Tabla 8

Método de sostenimiento sugerido según RMR

RMR	Método sugerido
80 – 100	Anclajes puntuales, sin shotcrete
60 – 80	Pernos + malla
40 – 60	Pernos + malla + shotcrete 5–7 cm
20 – 40	Pernos + shotcrete ≥ 10 cm
< 20	Marcos + shotcrete + refuerzo especial

Nota. Elaboración propia

2.2.6. Uso de Shotcrete en Mineria Subterranea

El shotcrete, también conocido como concreto proyectado, es una mezcla de cemento, agregados finos, agua, aditivos y, en muchos casos, fibras reforzantes, aplicada a presión sobre superficies irregulares o fracturadas. Su uso es clave para el sostenimiento primario en túneles, cámaras y galerías mineras, ya que proporciona un soporte inmediato tras la excavación, reduciendo riesgos de colapso del macizo rocoso (Hoek et al., 2000; EFNARC, 2009).

La versatilidad del shotcrete permite su aplicación en macizos rocosos de diferentes calidades geomecánicas, desde formaciones relativamente competentes hasta aquellas intensamente fracturadas. Gracias a su capacidad de adherencia y a su rápido fraguado, es eficaz incluso en ambientes húmedos o con presencia de agua subterránea, como en las minas de San Cristóbal (Pasco) o Atacocha, donde se emplea junto con sistemas de drenaje localizados para garantizar la estabilidad (UNI, 2019).

Existen dos métodos de aplicación del shotcrete:

- **Vía seca**: Los componentes secos se transportan a la boquilla, donde se

mezcla el agua justo antes de proyectarse. Es útil en zonas remotas o con restricciones logísticas, pero genera más polvo.

- **Vía húmeda**: La mezcla húmeda se prepara previamente y se bombea hasta la boquilla. Este método ofrece mejor calidad, mayor homogeneidad, y es el más usado en minería mecanizada (EFNARC, 2009; Rostami et al., 2014).

Figura 8

Aplicación mecanizada de shotcrete en túnel subterráneo



Nota. Best Support Underground (s.f.)

En el Perú, operaciones como El Porvenir, Andaychagua y San Cristóbal han migrado casi por completo a la técnica húmeda, utilizando fibras metálicas o sintéticas para reforzar el concreto lanzado y mejorar su resistencia a tracción y a la flexión, especialmente en zonas de subsidencia o con presión hidrostática (Valencia & Salazar, 2018; Kim et al., 2019)

2.2.6.1. Dosificación del Shotcrete

La dosificación del shotcrete depende de factores como la geología local, el tipo de excavación, la agresividad del entorno (por ejemplo, aguas ácidas), y los requisitos estructurales del sostenimiento. Una fórmula tipo utilizada en minería subterránea mecanizada incluye:

Tabla 9

Composición Standard 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

Esta dosificación puede alcanzar resistencias a compresión entre **25 y 30 MPa a los 28 días** (Jalalifar et al., 2011). En condiciones de alta agresividad química o salinidad, como ocurre en sectores de El Brocal o Yauli, se ajustan los aditivos para mejorar la durabilidad del shotcrete frente a lixiviación o reacciones sulfáticas (García et al., 2019).

Además, se deben considerar las condiciones ambientales y de seguridad durante el proceso de aplicación del shotcrete para garantizar un sostenimiento efectivo de las excavaciones (Hagan, 2003; Rostami et al., 2014).

La elección de la dosificación del shotcrete no solo responde a normas internacionales o laboratorios especializados, sino también a la experiencia empírica acumulada en cada unidad minera. En Perú, distintas operaciones como San Cristóbal, El Porvenir, Atacocha, Yauli y El Brocal, han implementado diseños específicos de mezcla según el tipo de litología, nivel freático o agresividad química del agua subterránea. Esto ha llevado a establecer dosificaciones optimizadas que varían en contenido de fibras, relación agua/cemento y uso de aditivos, las cuales responden a las condiciones particulares del macizo rocoso y a la necesidad de sostenibilidad del sostenimiento.

2.2.6.2.Relación con las Condiciones Hidrogeológicas

La interacción entre el shotcrete y el agua subterránea es un factor crítico. Según Kim et al. (2019), en ambientes con pH ácido, alto contenido de sulfatos o elevada carga salina, pueden producirse procesos de lixiviación, disgregación del cemento o pérdida de adherencia. Para mitigar estos efectos, se recomienda:

- Uso de aditivos especiales (inhibidores de corrosión, microsílice)
- Recubrimientos secundarios o doble capa de shotcrete
- Drenaje previo a la aplicación

Tabla 10

Compatibilidad del Shotcrete con Condiciones Hidroquímica

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 Kim et al. (2019), Ngwenya et al. (2020) y EFNARC (2009).

En la mina San Cristóbal (Pasco), se ha observado degradación del

shotcrete en zonas con infiltración de aguas ácidas, lo cual obligó al uso de fibras de polipropileno y aditivos impermeabilizantes. Las capas proyectadas alcanzan entre 8 y 10 cm de espesor, con resistencias mínimas de 28 MPa, ajustadas para resistir ambientes agresivos (UNI, 2019).

De manera similar, en Atacocha, las galerías ubicadas en niveles inferiores presentan contacto prolongado con aguas de baja alcalinidad y elevada concentración de sulfatos. Esto ha llevado a la implementación de drenajes auxiliares y doble capa de shotcrete reforzado, con aditivos microsílicos para reducir la permeabilidad (García et al., 2019).SZ

Tabla 11

Dosificación típica de shotcrete en minas subterráneas peruanas

Unidad Minera	Método de aplicación	Fibras usadas	Espesor típico	Resistencia (28 días)
San Cristóbal	Vía húmeda	Polipropileno	8–10 cm	≥ 28 MPa
El Porvenir	Vía húmeda	Fibras metálicas	7–10 cm	25–30 MPa
Andaychagua	Vía húmeda	Fibras sintéticas	6–8 cm	26–30 MPa
Carahuacra	Vía húmeda	Fibras metálicas + aditivos	10–12 cm	Ajustada a entorno ácido
Atacocha	Vía húmeda	Polipropileno	8–10 cm	≥ 27 MPa

Nota. Elaboración propia con base en los informes técnicos de interpretación hidrogeológica y caracterización de shotcrete.

La caracterización hidroquímica previa es fundamental para seleccionar

adecuadamente la dosificación del shotcrete, el tipo de fibras (metálicas o sintéticas) y la estrategia de aplicación (una o dos capas, espesor, aditivos). Ignorar la interacción agua–shotcrete puede derivar en fallas prematuras de sostenimiento, incrementando costos operativos, tiempos de reparación y riesgos para la seguridad del personal.

La investigación continua en este campo es crucial para desarrollar soluciones innovadoras que mejoren la interacción entre el shotcrete y el agua, garantizando la seguridad y sostenibilidad de las operaciones mineras subterráneas (Rostami et al., 2014).

2.2.7. Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras

Las características fisicoquímicas de las aguas residuales mineras son fundamentales para comprender su impacto en el medio ambiente y diseñar estrategias de gestión adecuadas. Estos efluentes pueden contener una variedad de elementos, como metales pesados, sulfatos, pH ácido, entre otros, que pueden afectar negativamente la calidad del agua y el ecosistema circundante (García et al., 2019). Además, la interacción entre las aguas residuales y el shotcrete utilizado en la minería subterránea puede influir en la composición química del agua y su capacidad para transportar contaminantes (Flores et al., 2020).

Las aguas residuales generadas en operaciones mineras subterráneas presentan una elevada complejidad química, debido a su interacción con macizos rocosos alterados, presencia de sulfuros metálicos y procesos de oxidación que liberan metales pesados y sulfatos. La caracterización fisicoquímica de estas aguas es indispensable para evaluar su impacto ambiental, prever efectos en estructuras de sostenimiento como el shotcrete, y diseñar estrategias de tratamiento adecuadas (Johnson & Hallberg, 2005; Motsi et al., 2020). Estas aguas pueden presentar baja alcalinidad, pH ácido, alta carga iónica, sólidos disueltos totales elevados (TDS) y concentración significativa de elementos como Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, entre otros (Rodríguez & Armienta, 2021).

El análisis fisicoquímico no solo permite identificar la agresividad del agua frente a materiales cementicios, sino también estimar su potencial de movilidad de contaminantes, evaluar la eficiencia de sistemas de drenaje, y cumplir con la

normativa ambiental vigente. Por ello, se prioriza el monitoreo de parámetros clave como el pH, conductividad eléctrica, DQO, oxígeno disuelto y metales pesados, aplicando metodologías normalizadas como las del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2018).

2.2.7.1. Medición del pH:

El pH representa el grado de acidez o alcalinidad del agua y es uno de los principales indicadores de agresividad química. En aguas ácidas de mina (AMD), es común encontrar valores inferiores a 4, lo que incrementa la solubilidad de metales pesados y puede promover procesos de lixiviación en el shotcrete, debilitando sus propiedades mecánicas, valores inferiores a 6.5 se consideran ácidos y pueden promover la disolución de metales, afectando estructuras de sostenimiento como el shotcrete (Younger et al., 2002; Cidu et al., 2011). Se mide mediante electrodo combinado con lectura digital directa.

2.2.7.2. Conductividad Eléctrica (EC):

La conductividad eléctrica refleja la presencia de sales ionizables, como cloruros, sulfatos o nitratos. Valores por encima de 2000 µS/cm indican aguas de alta mineralización, típicas de ambientes mineros con oxidación de sulfuros. Esta propiedad es útil para inferir indirectamente los niveles de TDS y predecir la corrosividad del agua frente a materiales de sostenimiento (Rodríguez & Armienta, 2021).

2.2.7.3. Sólidos Disueltos Totales (TDS):

Los TDS incluyen todas las sales inorgánicas y materia orgánica disueltas. Concentraciones superiores a 1500 mg/L pueden alterar el equilibrio osmótico de los ecosistemas acuáticos y reducir la adherencia del concreto lanzado al macizo rocoso (EPA, 2017). Su estimación puede derivarse de la EC, o medirse directamente por evaporación del residuo seco.

2.2.7.4. Oxígeno Disuelto (DO):

La concentración de oxígeno disuelto es esencial para caracterizar el estado redox del agua. Niveles bajos (<2 mg/L) indican condiciones reductoras, propicias para la solubilización de metales y la generación de compuestos tóxicos

como H_2S. También incide en la estabilidad de aditivos y compuestos cementantes del shotcrete (APHA, 2018).

2.2.7.5. Demanda Química de Oxígeno (COD):

La COD estima la materia orgánica presente, tanto biodegradable como no biodegradable. En contextos mineros, una COD elevada puede provenir de aceites, reactivos, explosivos o residuos biológicos. Estos compuestos pueden formar complejos con metales, dificultando su remoción y favoreciendo la corrosión de fibras metálicas en el shotcrete (Motsi et al., 2020).

2.2.7.6. Análisis de Metales Pesados:

Se prioriza la cuantificación de As, Cd, Pb, Cu, Fe, Mn y Zn por su toxicidad y movilidad en ambientes ácidos. Para ello, se utilizan métodos como la espectroscopía de absorción atómica (AAS) o la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), siguiendo estándares de calidad del agua como los de la OMS (WHO, 2011).

2.2.7.7. Metodologías analíticas

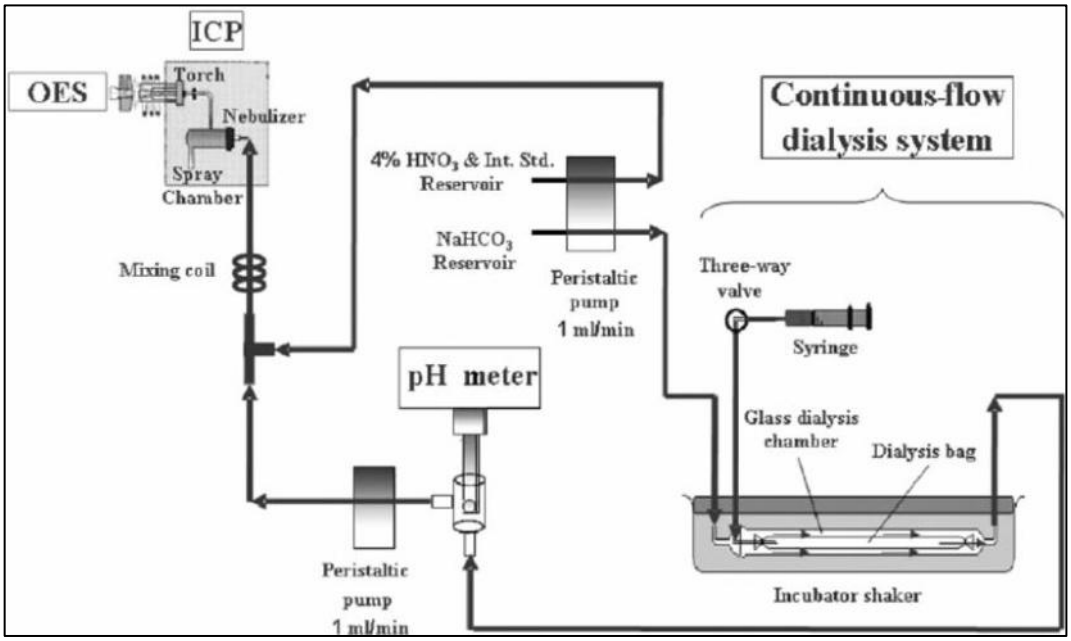
La caracterización fisicoquímica de las aguas residuales en minería subterránea constituye una herramienta esencial para el diagnóstico y gestión ambiental de las operaciones mineras. Esta caracterización implica el análisis detallado de parámetros como el pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (TDS), oxígeno disuelto (DO), demanda química de oxígeno (COD) y la concentración de metales pesados como arsénico, cadmio, plomo, cobre y zinc. Estos indicadores permiten evaluar tanto la agresividad del agua como su potencial impacto sobre estructuras de sostenimiento y ecosistemas acuáticos circundantes (Chuan et al., 1996; Martínez et al., 2021).

Para llevar a cabo estas evaluaciones, se aplican metodologías analíticas basadas en normas internacionales. Entre las más empleadas se encuentran la espectroscopía de absorción atómica (AAS) y la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), las cuales permiten una detección precisa de metales a niveles traza. Estas técnicas son altamente sensibles y adecuadas para matrices complejas como las aguas ácidas de mina (Water Research

Commission, 2001; Martínez et al., 2021).

+

Sistema de diálisis de flujo continuo acoplado a espectrometría ICP-OES.



Nota. Adaptado de Wu, H., Meng, X., Wang, Y., & Zhang, J. (2021).

Además, métodos colorimétricos y potenciométricos son utilizados para la determinación de parámetros como el pH y la alcalinidad, mientras que sondas multiparamétricas se emplean para medir simultáneamente variables como la temperatura, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica en campo. Estas mediciones permiten establecer un perfil hidroquímico representativo del entorno subterráneo (Younger et al., 2002; Wu et al., 2021).

La planificación de los muestreos debe considerar aspectos clave como la ubicación estratégica de los puntos de monitoreo (frentes de explotación, sumideros, galerías de ventilación), la frecuencia (mensual, trimestral o en eventos puntuales como lluvias intensas), y la preservación adecuada de las muestras. Estas prácticas garantizan la representatividad de los datos y la trazabilidad de los resultados obtenidos (APHA, 2018; Wu et al., 2021).

Para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos, se emplean índices integradores como el Índice de Calidad del Agua (ICA) o el Índice de Contaminación de Metales Pesados (HPI). Estos índices permiten traducir múltiples

parámetros individuales en una sola medida cuantitativa del estado del recurso hídrico, facilitando así la toma de decisiones y la comunicación con stakeholders (Said et al., 2004; Borrego et al., 2020).

Finalmente, la integración de esta información analítica con datos geológicos, geomecánicos e hidrogeológicos permite establecer relaciones causa-efecto entre los procesos mineros y la evolución de la calidad del agua. Este enfoque integral no solo mejora el entendimiento técnico del sistema hidrogeoquímico, sino que también contribuye a la planificación de medidas preventivas para minimizar riesgos ambientales a largo plazo (Martínez et al., 2021; Wu et al., 2021).

2.2.8. Normativa Ambiental en Minería Subterránea en el Perú

La actividad minera subterránea en el Perú se encuentra regulada por un sólido marco normativo ambiental que busca minimizar el impacto de las operaciones sobre los recursos hídricos, la geología local y los ecosistemas subterráneos. Este marco está conformado por leyes, reglamentos y estándares que establecen obligaciones específicas para el monitoreo, control y remediación de los efectos ambientales, particularmente aquellos asociados a las aguas residuales.

En primer lugar, la Ley de Recursos Hídricos N.º 29338, promulgada en 2009, establece que el agua es un recurso natural de carácter estratégico, de dominio público y esencial para la vida, el bienestar humano y el desarrollo económico. Esta ley promueve su uso sostenible mediante la gestión integrada por cuencas hidrográficas y exige que toda actividad económica, incluida la minería, respete los principios de sostenibilidad, equidad y participación (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2009). Asimismo, establece mecanismos para la autorización del vertimiento de aguas residuales tratadas, imponiendo límites de carga contaminante.

Complementariamente, el Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades Minero-Metalúrgicas, aprobado mediante el Decreto Supremo N.º 040-2014-EM, detalla los lineamientos técnicos y administrativos que deben seguir las empresas mineras para identificar, prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales negativos derivados de sus operaciones. Este reglamento exige la elaboración de instrumentos de gestión ambiental (como los estudios de impacto ambiental detallado - EIA-d), la ejecución de planes de manejo de aguas

residuales y la implementación de monitoreos periódicos de calidad de agua, especialmente en zonas donde se aplica shotcrete en presencia de agua subterránea (MINEM, 2014).

Respecto a la calidad del agua, el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, los cuales fijan concentraciones máximas permisibles de contaminantes como el arsénico, plomo, mercurio, sulfatos y pH en cuerpos hídricos naturales. Estos estándares son especialmente relevantes en minería subterránea, ya que las interacciones entre el agua subterránea y los materiales de sostenimiento como el shotcrete pueden modificar la composición química del agua, generando lixiviados alcalinos o metálicos que deben ser controlados (MINAM, 2017).

Las entidades encargadas de hacer cumplir estas normativas son la Autoridad Nacional del Agua (ANA), que otorga derechos de uso del recurso hídrico y supervisa el cumplimiento de la Ley de Recursos Hídricos, y el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), que fiscaliza el cumplimiento de los estándares ambientales, impone sanciones administrativas y exige acciones correctivas cuando se detectan incumplimientos (OEFA, 2020).

Además, la Ley General del Ambiente (Ley N.º 28611) establece el principio de prevención y responsabilidad ambiental, que obliga a las empresas mineras a anticipar los impactos potenciales de sus actividades y responder por cualquier daño causado. En este sentido, la correcta gestión de las aguas residuales generadas por filtraciones subterráneas o procesos asociados al uso de shotcrete forma parte de la responsabilidad integral de las compañías operadoras.

Por todo ello, las empresas mineras deben implementar sistemas de gestión ambiental (SGA) integrales que incluyan programas de monitoreo de agua subterránea, caracterización fisicoquímica de efluentes, control de calidad del shotcrete y aplicación de tecnologías de tratamiento. Solo así se puede garantizar la conformidad con la legislación vigente y promover una minería subterránea más responsable y sostenible.

Tabla 12

Normativas ambientales relevantes aplicables a la interacción agua residual–shotcrete en minería subterránea.

Normativa	Entidad Responsable	Contenido Relevante	Relación con la Investigación
Ley de Recursos Hídricos N.º 29338	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Regula el uso y calidad del recurso hídrico. Promueve el uso sostenible del agua por cuenca.	Obliga a monitorear las aguas subterráneas en minería subterránea; influye en el control de filtraciones que pueden interactuar con el shotcrete.
D.S. N.º 040-2014-EM – Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para Actividades Minero-Metalúrgicas	Ministerio de Energía y Minas (MINEM)	Establece obligaciones para la gestión ambiental en minería, incluyendo tratamiento de aguas residuales y sostenimiento.	Exige estudios de calidad de agua y sostenimiento (shotcrete), vinculando ambas variables.
D.S. N.º 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	Ministerio del Ambiente (MINAM)	Establece límites permisibles de contaminantes (pH, metales, DQO, etc.) en cuerpos hídricos.	Los parámetros fisicoquímicos del agua residual son comparados con estos estándares para evaluar el riesgo al shotcrete.
Ley General del Ambiente N.º 28611	Congreso de la República	Establece principios de prevención, responsabilidad y sostenibilidad ambiental.	Refuerza la necesidad de estudiar la interacción agua–shotcrete para prevenir impactos estructurales y ambientales.
Funciones del OEFA	OEFA	Fiscalización y sanción por incumplimiento de normas ambientales en minería.	Aplica sanciones si la calidad del agua residual o el deterioro del shotcrete no es gestionado adecuadamente.

Nota. Elaboración propia

2.3. Definición de Términos

2.3.1. Aguas residuales mineras

Son efluentes líquidos generados durante las diversas etapas de las operaciones mineras, como la extracción, trituración, molienda y concentración de minerales. Estas aguas pueden contener contaminantes como metales pesados (arsénico, cadmio, plomo), sólidos en suspensión, compuestos sulfurados y reactivos químicos, que requieren tratamiento para prevenir impactos ambientales. Su caracterización y monitoreo son fundamentales para cumplir con la normativa ambiental vigente y garantizar una gestión sostenible del recurso hídrico (Bosstech, s.f.; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

2.3.2. Geología Local

La geología local se refiere al estudio detallado de la geología de una región específica, incluyendo la caracterización de las formaciones geológicas, estructuras tectónicas y procesos geológicos que han dado forma al paisaje en esa área particular (Leeder, 2011).

2.3.3. Litología

La hidrogeología es la disciplina que estudia las aguas subterráneas, abordando aspectos como su distribución, movimiento, calidad, interacción con el medio poroso y su aprovechamiento sostenible (Fetter, 2001).

2.3.4. Hidrogeología

La hidrogeología es la disciplina que estudia las aguas subterráneas, abordando aspectos como su distribución, movimiento, calidad, interacción con el medio poroso y su aprovechamiento sostenible (Fetter, 2001).

Es la “ciencia que se enfoca al ciclo hidrológico global y a los procesos involucrados en la parte continental de dicho ciclo, es decir, es la geociencia que describe y predice las variaciones espaciales y temporales del agua en las etapas terrestre, oceánica y atmosférica del sistema hídrico global y; el movimiento del agua sobre y debajo de la superficie terrestre, incluyendo los procesos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar a lo largo de su trayectoria” (Breña & Jacobo,

2006).

2.3.5. Caracterización Geomecánica

La caracterización geomecánica consiste en el estudio de las propiedades mecánicas de las rocas y suelos en el contexto de la ingeniería geotécnica y la minería, incluyendo la resistencia, deformabilidad, fracturación y comportamiento ante cargas y fluidos (Hoek & Bray, 1981).

2.3.6. Shotcrete

Es un tipo de concreto o mortero que se proyecta neumáticamente a alta velocidad sobre una superficie, permitiendo su aplicación inmediata para estabilización estructural. Se utiliza comúnmente en túneles, galerías y cámaras subterráneas como método de sostenimiento, y puede aplicarse en modalidad seca o húmeda. Su formulación puede incluir aditivos acelerantes y fibras sintéticas o metálicas para mejorar su desempeño mecánico (EFNARC, 2009; Höfler & Schlumpf, 2004).

Así tambien un material de construcción de cemento, agua, y áridos igual que hormigón convencional. La única diferencia consiste en la forma de compactación. Un hormigón que es compactado por la energía de proyección como hormigón de proyección en el momento de incidir sobre las paredes debe tener, por lo menos teóricamente, las mismas características que el hormigón de construcción vibrado. (Tapia Choquehuanca, 2008)

2.3.7. Rock Mass Rating (RMR)

Es un sistema de clasificación geomecánica desarrollado por Bieniawski que permite evaluar la calidad del macizo rocoso. Este índice considera parámetros como la resistencia de la roca intacta, el índice de calidad del núcleo (RQD), el espaciado y estado de las discontinuidades, la presencia de agua subterránea y la orientación de las discontinuidades. El RMR es ampliamente utilizado en diseño geotécnico para determinar el tipo de sostenimiento requerido en minería y obras civiles subterráneas (Bieniawski, 1989).

2.3.8. Caracterización Fisicoquímica del agua

Es el proceso mediante el cual se evalúan propiedades físicas (como temperatura, turbidez, color) y químicas (como pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, DQO y metales pesados) del agua. Esta caracterización permite determinar su calidad y adecuación para usos diversos, como consumo humano, descarga al ambiente o reutilización industrial (APHA, 2018; EPA, 2017).

2.3.9. Lixiviacion

Es el proceso mediante el cual componentes solubles de un material sólido, como iones de calcio o alcalinos en el concreto, se disuelven y son transportados por el agua. En el contexto del shotcrete en minería subterránea, la lixiviación puede provocar eflorescencias, pérdida de alcalinidad y debilitamiento estructural del sostenimiento, especialmente en ambientes con agua ácida o con alto contenido de sulfatos (López et al., 2019; Kim et al., 2019).

2.3.10. Metales pesados

Grupo de elementos químicos de alta densidad y toxicidad que pueden acumularse en el medio ambiente y causar efectos negativos en la salud humana y ecosistemas. Incluyen metales como el arsénico, plomo, mercurio, cadmio y níquel, comúnmente encontrados en efluentes mineros (Alloway, 2013).

2.3.11. ICP-MS (Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente)

Es una técnica analítica de alta sensibilidad que permite determinar concentraciones muy bajas de elementos químicos, particularmente metales pesados y elementos traza en muestras de agua y otros materiales. Es frecuentemente utilizada en estudios ambientales y mineros por su precisión y sensibilidad (Thomas, 2013).

2.3.12. Subsistencia minera

Fenómeno que ocurre cuando el terreno sobre una excavación subterránea

se hunde o desplaza hacia abajo debido al colapso o deformación del macizo rocoso, afectando estructuras superficiales y estabilidad geomecánica. Es crucial su evaluación en minería subterránea para evitar accidentes y daños estructurales (Singh & Dhar, 1997).

2.3.13. Macizo rocoso

Conjunto natural de rocas, con discontinuidades como fracturas y fallas, cuya resistencia y estabilidad determinan las técnicas de sostenimiento requeridas en minería subterránea. El comportamiento geomecánico del macizo rocoso es evaluado mediante sistemas de clasificación como el RMR o el índice Q (Hoek & Brown, 1997).

2.3.14. Geomecánica

Es la disciplina que estudia el comportamiento mecánico de suelos y rocas, aplicada para evaluar y garantizar la estabilidad de obras civiles y mineras. En minería subterránea, se enfoca especialmente en aspectos como sostenimiento, deformación, subsidencia y control de excavaciones (Brady & Brown, 2004).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Nivel de Investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que busca generar conocimientos prácticos orientados a mejorar la gestión ambiental en minería subterránea, evaluando cómo varía la composición fisicoquímica de las aguas residuales al entrar en contacto con el shotcrete. Este tipo de investigación busca resolver un problema específico dentro de un entorno real, generando resultados útiles para futuras decisiones operativas y ambientales (Hernández-Sampieri et al., 2014).

El enfoque metodológico es cuantitativo, dado que se centra en la obtención y análisis numérico de datos, como pH, conductividad eléctrica, concentración de sólidos disueltos totales (TDS), metales pesados, entre otros. Este enfoque permite establecer comparaciones objetivas entre los parámetros del agua antes y después de su contacto con el shotcrete, evaluado en condiciones de laboratorio controladas (Creswell, 2014).

El nivel de investigación es descriptivo y correlacional. Es descriptivo porque se identifican y analizan las características fisicoquímicas del agua residual proveniente de cinco unidades mineras subterráneas, antes y después de simular su interacción con el shotcrete. Es correlacional porque se busca evaluar la relación existente entre la composición del shotcrete y las variaciones químicas del agua residual tras el contacto (Flores et al., 2020).

El diseño de investigación es no experimental, transversal y observacional. Es no experimental porque las variables no fueron manipuladas intencionalmente, sino observadas tal como se presentan. Es transversal porque la información se recolectó en un único momento del tiempo, y observacional porque el análisis se realizó sin intervenir los procesos naturales del material, sino simulando su interacción en laboratorio, respetando las condiciones típicas de operación en minería subterránea (Creswell, 2014; Hernández-Sampieri et al., 2014).

Este diseño metodológico permite generar una base sólida de información sobre los efectos fisicoquímicos que resultan de la interacción entre el agua residual

y el shotcrete, lo que resulta útil tanto para la gestión de calidad del agua como para la selección de aditivos o refuerzos adecuados en proyectos mineros futuros, análisis que sirve como sustento preliminar para futuras investigaciones orientadas al modelamiento hidroquímico, optimización de sostenimiento y cumplimiento de la normativa ambiental peruana**.**

3.2 Ámbito Temporal y Espacial

El ámbito temporal de la presente investigación abarca el periodo comprendido entre agosto de 2024 y junio de 2025, tiempo durante el cual se recopilaron, sistematizaron y analizaron los datos experimentales derivados de pruebas de laboratorio simuladas bajo condiciones controladas. Dichas pruebas estuvieron basadas en muestras sintéticas de aguas residuales representativas de las cinco unidades mineras seleccionadas, a fin de evaluar su interacción fisicoquímica con distintas formulaciones de shotcrete. Estas actividades se ejecutaron en coordinación con laboratorios especializados certificados para garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos

El estudio tuvo lugar en cinco unidades mineras subterráneas representativas de la Sierra Central del Perú: Andaychagua, San Cristóbal, Carahuacra, El Porvenir y Atacocha. Estas minas fueron seleccionadas debido a su relevancia operativa y a su uso intensivo de shotcrete como método de sostenimiento en labores subterráneas, lo que las convierte en escenarios idóneos para evaluar la interacción entre aguas residuales y materiales cementicios. Según el Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM), estas unidades destacan tanto por su producción como por su implementación de sistemas de sostenimiento con base en concreto proyectado (MINEM, 2020)

La elección de este ámbito geográfico responde, además, a la disponibilidad de estudios hidrogeológicos previos que describen la composición y comportamiento de los acuíferos confinados en estas zonas mineras, lo cual permitió diseñar simulaciones de laboratorio con condiciones representativas del entorno real. Estas simulaciones fueron fundamentales para examinar los efectos

del shotcrete en la calidad del agua, bajo condiciones controladas y replicables.

Figura 9

Ubicación geográfica de las 5 unidades mineras de producción en la sierra central del Perú.



Nota. Elaboración propia

De este modo, el enfoque espacial considera tanto las condiciones particulares de cada unidad minera como los antecedentes geotécnicos e hidroquímicos disponibles. Esta aproximación metodológica permite extrapolar resultados hacia otras operaciones similares en minería subterránea, contribuyendo así con la formulación de estrategias sostenibles de gestión de efluentes, así como también sino también establecer una línea base para investigaciones futuras, como evaluaciones a largo plazo de estabilidad geoquímica y posible movilidad de metales en ambientes subterráneos.

3.3 Población y Muestra

La población de esta investigación está conformada por las aguas residuales generadas en labores mineras subterráneas de cinco unidades mineras de la sierra central del Perú, en las cuales se emplea shotcrete como método de sostenimiento. Estas unidades mineras son: El Porvenir, Atacocha, Andaychagua, Carahuacra y San Cristóbal, todas operadas bajo condiciones similares en cuanto a profundidad, tipo de explotación y uso de aditivos en el shotcrete.

La muestra fue seleccionada de manera no probabilística, por conveniencia, tomando en cuenta la disponibilidad de datos y acceso a los ensayos de laboratorio dentro del marco del proyecto de investigación. Las muestras de agua fueron recolectadas en condiciones controladas de laboratorio simulando un medio pozo, tanto antes como después de su interacción con el shotcrete, con el objetivo de evaluar los cambios en sus parámetros fisicoquímicos.

Esta estrategia de muestreo es adecuada en estudios explicativos y aplicados que buscan establecer relaciones causales en condiciones experimentales (Hernández-Sampieri et al., 2014). Además, permite observar con precisión las variaciones en la calidad del agua asociadas al contacto con distintos tipos de shotcrete y sus aditivos.

3.4 Instrumentos de Análisis en Laboratorio

Dado que la presente investigación se centra en la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras y su interacción con el shotcrete, los instrumentos de recolección de datos se orientaron al análisis de laboratorio y

revisión documental especializada. No se utilizaron encuestas ni entrevistas, ya que la naturaleza del estudio es técnica y cuantitativa, centrada en datos físico-químicos y propiedades de materiales.

Los principales instrumentos utilizados fueron:

- **Ensayos de laboratorio** para análisis fisicoquímico del agua residual y simulación de interacción con shotcrete. Para ello, se emplearon equipos como espectrofotómetros UV-Vis, conductímetros, pH-metros y sistemas de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), de acuerdo con los estándares establecidos por la American Public Health Association (APHA, 2018) y protocolos recomendados por la EPA (2017).

- **Fichas técnicas y hojas de seguridad** de los aditivos utilizados en la preparación del shotcrete, tales como acelerantes, plastificantes y fibras sintéticas, proporcionadas por los fabricantes, como BASF (MasterSet, MasterGlenium, Viscocrete) y Sika (Sigunit).

- **Informes técnicos e hidrogeológicos** elaborados por las propias unidades mineras (Carahuacra, El Porvenir, Andaychagua, Atacocha y San Cristóbal), que detallan las condiciones hidrogeológicas y geomecánicas de las zonas de aplicación, así como las características históricas del agua subterránea.

- **Protocolos de simulación** en laboratorio para observar las alteraciones en los parámetros fisicoquímicos del agua antes y después de entrar en contacto con el shotcrete, siguiendo el enfoque experimental reportado en investigaciones similares como la de Flores et al. (2020) y López et al. (2019)

- .**Software estadístico (Excel, SPSS)** para el análisis de datos y correlaciones.

Este enfoque instrumental permite integrar datos cuantitativos obtenidos de mediciones directas con información técnica especializada, con el fin de

comprender las posibles alteraciones fisicoquímicas que se producen en el agua debido a la interacción con el shotcrete, y así ofrecer una base explicativa válida para futuras investigaciones.

3.4.1. Validación y Confiabilidad de los Instrumentos

Para asegurar la validez de los datos obtenidos en esta investigación, se emplearon metodologías analíticas estandarizadas y reconocidas internacionalmente. Las técnicas utilizadas, como la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y la espectroscopía de absorción atómica (AAS), han sido validadas por organismos como la American Public Health Association (APHA) y son ampliamente utilizadas en la caracterización de aguas residuales en contextos mineros (APHA, 2018).

La confiabilidad de los resultados se garantizó mediante la ejecución de duplicados en los análisis de laboratorio, la calibración periódica de los instrumentos, y el control de calidad de las muestras con blancos y patrones certificados. Los laboratorios involucrados en el estudio están acreditados conforme a la norma ISO/IEC 17025, lo que asegura la competencia técnica en los procedimientos aplicados (Thomas, 2013)

Además, se consideraron criterios como la trazabilidad de los datos, el uso de reactivos certificados y la implementación de protocolos de limpieza y manipulación de muestras para evitar contaminación cruzada, lo que refuerza la precisión y repetibilidad de los resultados obtenidos (EPA, 2017).

3.5 Procedimientos

Para la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras en interacción con shotcrete, se diseñó un procedimiento basado en simulaciones en condiciones de laboratorio, que permiten evaluar los cambios en los parámetros del agua antes y después del contacto con materiales utilizados en el sostenimiento de labores subterráneas. El procedimiento general siguió las etapas que se describen a continuación:

(1) **Recolección de información técnica de campo:** Se recopilaron datos geoquímicos e hidrogeológicos proporcionados por estudios técnicos previos de cinco unidades mineras subterráneas ubicadas en la sierra central del Perú: San Cristóbal, El Porvenir, Atacocha, Andaychagua y Carahuacra. Esta información incluyó parámetros como pH, conductividad, TDS, y concentración de metales, obtenidos a partir de informes técnicos de interpretación hidrogeológica y caracterización de aguas.

(2) **Selección y preparación de muestras:** A partir de los valores típicos reportados para cada unidad minera, se prepararon soluciones sintéticas que reproducen las características fisicoquímicas representativas del agua residual de cada mina. Estas soluciones fueron preparadas siguiendo metodologías estandarizadas para simulación de aguas contaminadas.

(3) **Preparación del shotcrete:** Se elaboraron probetas de shotcrete empleando las proporciones y materiales documentados en las fichas técnicas y hojas de seguridad de los aditivos utilizados por las operaciones mineras analizadas, incluyendo fibras metálicas y sintéticas, cemento Portland, acelerantes tipo Sigunit y plastificantes tipo Glenium o Viscocrete

(4) **Toma de muestras post-interacción y análisis:** Transcurrido el tiempo de contacto, se recolectaron muestras de agua para ser analizadas nuevamente bajo los mismos parámetros iniciales: pH, conductividad eléctrica, TDS, DQO y concentración de metales (Cd, Pb, Fe, etc.). Los análisis fueron realizados en laboratorio mediante espectroscopía ICP-MS y técnicas complementarias conforme a los protocolos del APHA (2018) y las normas establecidas por el MINAM.

(5) **Comparación de resultados y análisis de variación:** Se compararon los resultados antes y después del contacto con el shotcrete para evaluar las variaciones inducidas por el material. Esto permitió identificar procesos de lixiviación, absorción, neutralización o incremento de

parámetros críticos en función de los componentes del shotcrete y la calidad inicial del agua.

Este procedimiento contribuye a generar una base técnica que permita comprender mejor la interacción química entre el sostenimiento aplicado en minería subterránea y las aguas residuales generadas, sirviendo además como referencia para futuras investigaciones de modelamiento y diseño de estrategias de mitigación ambiental.

3.6 Análisis de Datos

Los datos empleados en esta investigación provienen de la recopilación y sistematización de estudios hidrogeológicos, informes técnicos de compañías mineras y reportes institucionales disponibles en repositorios oficiales. No se realizaron muestreos directos en campo, dado que el objetivo principal fue analizar e integrar información ya existente para identificar patrones de interacción entre aguas residuales y shotcrete en distintas unidades mineras de la Sierra Central del Perú.

El análisis de datos en esta investigación se desarrolló con base en la interpretación de resultados obtenidos a partir de ensayos fisicoquímicos aplicados a muestras de aguas residuales recolectadas en cinco unidades mineras subterráneas: San Cristóbal, El Porvenir, Andaychagua, Atacocha y Carahuacra. Para cada muestra se evaluaron parámetros como pH, conductividad eléctrica (EC), sólidos disueltos totales (TDS), dureza, y concentración de metales pesados, antes y después de su interacción con shotcrete bajo condiciones laboratoriales simuladas.

Los datos fueron registrados en hojas de cálculo estructuradas, y posteriormente procesados mediante estadística descriptiva. Se calcularon medidas de tendencia central (media, mediana) y de dispersión (desviación estándar) para cada parámetro, con el fin de identificar patrones y comparar los valores pre y post interacción con shotcrete. Este enfoque permite determinar posibles variaciones significativas en la calidad del agua, atribuibles al proceso de lixiviación o reacción química entre los compuestos del shotcrete y los constituyentes del agua residual.

En línea con el enfoque correlacional del estudio, se evaluaron también

posibles relaciones entre variables, como la concentración de metales pesados y el pH, o entre los TDS y la conductividad eléctrica, mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Este análisis estadístico básico permitió identificar dependencias lineales significativas, orientando así la interpretación de los mecanismos químicos involucrados en la interacción agua–shotcrete

Finalmente, los resultados fueron comparados con los límites establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM), lo que permitió evaluar el cumplimiento normativo y estimar el potencial impacto ambiental del uso de shotcrete en presencia de aguas residuales mineras.

3.7 Consideraciones Éticas y Ambientales

La presente investigación se desarrolló cumpliendo los principios éticos que rigen la actividad científica, como el respeto por la integridad de los datos, la transparencia en la presentación de resultados, y el reconocimiento de las fuentes de información y colaboración. Todos los datos recolectados provienen de análisis laboratoriales simulados, sin intervención directa en cuerpos de agua o ecosistemas, lo que minimiza cualquier riesgo ambiental.

En el ámbito ambiental, se respetaron las directrices establecidas por el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA), asegurando que las simulaciones de interacción entre shotcrete y agua residual se realizaron en condiciones controladas y sin generar efluentes reales. La investigación se alinea con el enfoque preventivo y de sostenibilidad ambiental, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el ODS 6: Agua limpia y saneamiento (Naciones Unidas, 2020).

Para garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales y de seguridad, se aplicaron las siguientes medidas:

- Minimización de residuos contaminantes en el proceso de recreación de mezclas.
- Manejo responsable de residuos químicos generados en el laboratorio.

- Confidencialidad de los datos y protección de la información utilizada en el estudio

Esta investigación busca, además, generar conocimiento útil para la mejora de prácticas mineras responsables y sentar las bases para futuras investigaciones que profundicen en la relación entre sostenimiento con shotcrete y la calidad de aguas residuales en condiciones reales de mina.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación se presentan a continuación organizados en función de los tres objetivos específicos establecidos en el capítulo I. Se han evaluado cinco unidades mineras subterráneas ubicadas en la Sierra Central del Perú: Andaychagua, Atacocha, Carahuacra, San Cristóbal y El Porvenir (Milpo), con el fin de analizar la composición fisicoquímica de sus efluentes, su relación con las características geomecánicas de cada yacimiento, y la interacción potencial con el shotcrete como sistema de sostenimiento.

Este capítulo presenta los resultados obtenidos a partir de los estudios hidrogeológicos, geomecánicos y de laboratorio realizados en cinco unidades mineras subterráneas ubicadas en la Sierra Central del Perú. La información se organiza en función de los objetivos específicos de la investigación, abordando de manera integral la caracterización fisicoquímica de los efluentes mineros, las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, y la interacción con el shotcrete. Los datos se muestran mediante cuadros, figuras y análisis interpretativos que permiten establecer la influencia del entorno en la estabilidad del sostenimiento y la calidad del agua**.**

4.1.1. Influencia del flujo de agua subterránea en la calidad de los efluentes de las 05 unidades mineras

4.1.1.1. Unidad Minera Andaychagua

La Unidad Minera Andaychagua presenta un sistema hidrogeológico complejo, caracterizado por la infiltración activa de agua a través de fracturas, zonas de perforación y galerías con sostenimiento. Las muestras recolectadas en el interior de la mina evidencian una amplia variabilidad de parámetros fisicoquímicos, con valores de conductividad eléctrica que oscilan entre 425 µS/cm y 2468 µS/cm, y sólidos totales disueltos (TDS) que alcanzan hasta 1624 mg/L, como se observa en la muestra AND-IM-14F (filtración). Estos valores reflejan una fuerte mineralización del agua en zonas donde el flujo interactúa intensamente con las formaciones rocosas y los materiales cementantes utilizados como sostenimiento,

particularmente shotcrete.

En cuanto al pH, los valores fluctúan entre 6.42 (ligeramente ácido) y 8.23 (ligeramente alcalino), evidenciando la influencia de procesos de disolución de carbonatos, la neutralización parcial de acidez, o la posible liberación de iones desde el concreto proyectado.

Se identificaron concentraciones elevadas de sulfatos, que superan los 1000 mg/L en muestras como AND-IM-06F y AND-IM-14F, lo cual representa un riesgo potencial para el deterioro del shotcrete, dado que los sulfatos pueden inducir reacciones expansivas con componentes del cemento. Además, la presencia de cloruros (hasta 0.809 mg/L), hierro (hasta 1.912 mg/L) y zinc (superior a 10 mg/L en varias muestras) sugiere un entorno químicamente agresivo, con potencial corrosivo para fibras metálicas y contribución a la disolución de materiales de sostenimiento.

Respecto a los piezómetros instalados en la relavera Andaychagua y sus alrededores, los valores de conductividad (hasta 1423 µS/cm) y TDS (hasta 1093 mg/L) también confirman la presencia de aguas con carga iónica significativa, aunque en general presentan mayor estabilidad química y menor agresividad en comparación con los puntos de muestreo internos. Sin embargo, se observaron niveles elevados de zinc (hasta 16.9 mg/L) y sulfatos (hasta 313 mg/L), lo cual indica arrastre geoquímico desde zonas activas hacia el entorno externo.

En conjunto, los datos evidencian que el flujo subterráneo en Andaychagua conduce al enriquecimiento progresivo del agua en sales disueltas y metales traza, especialmente en zonas de contacto prolongado con shotcrete, rocas mineralizadas o fallas estructurales. Este comportamiento apoya la hipótesis de que el flujo de agua subterránea influye directamente en la evolución fisicoquímica de los efluentes y puede generar condiciones que comprometan la durabilidad del sostenimiento proyectado.

Tabla 13

Parámetros y composición físico-química de las aguas subterráneas medidas en el interior de la mina Andaychagua.

DATOS DE LAS MUESTRAS		PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS			ELEMENTOS MAYORITARIOS									ELEMENTOS MINORITARIOS			
					Cationes				Aniones					Cationes			
N° de muestra	Tipo de fuente	Conductividad Eléctrica CE (uS/cm)	pH	Sólidos Totales Disueltos STD (mg/L)	Calcio Ca mg/L	Magnesio Mg mg/L	Sodio Na mg/L	Potasio K mg/L	Bicarbonatos HCO3 mg/L	Carbonatos CO3 mg/L	Cloruros Cl mg/L	Sulfatos SO4 mg/L	Manganeso Mn mg/L	Hierro Fe mg/L	Zinc Zn mg/L	Aluminio Al mg/L	Cobre Cu mg/L
1	Fractura	733	8.23	555	107.1	21.835	4.46	3.075	130.17	0.17	0.19	303.1	1.011	1.201	0.03	0.001	0.0002
2	Perforación de sostenimiento	876	7.23	680	132.9	22.77	6.95	5.739	125.42	0.17	0.809	395.6	0.2562	1.31	0.035	0.001	0.0002
3	Perforación	1761	6.64	1520	279.5	37.04	26.12	32.06	71.49	0.17	0.378	1015	1.828	10.82	0.023	0.001	0.0002
4	Filtración	2468	8	1506	297.4	43.47	30.52	31.99	68.2	0.17	0.7	1004	1.912	8.627	0.042	0.001	0.0002
5	Fractura	425	6.42	308	51.41	13.24	2.3	3.342	38.55	0.17	0.8661	54.09	0.5324	8.83	0.557	0.456	0.0958
6	Fractura	785	7.5	640	124.1	20.61	6.53	6.352	112.73	0.17	0.742	344.4	0.237	1.443	0.015	0.001	0.0002
7	Filtración	1862	7.6	1624	300.4	39.19	26.98	33.73	67.95	0.17	0.386	1128	1.658	7.012	0.015	0.0005	0.0002

Tabla 14

Parámetros y composición físico-química de las aguas subterráneas medidas en los piezómetros.

DATOS DE LAS MUESTRAS		PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS			ELEMENTOS MAYORITARIOS									ELEMENTOS MINORITARIOS			
					Cationes				Aniones					Cationes			
N° de muestra	Tipo de fuente	Conductividad Eléctrica CE (uS/cm)	pH	Sólidos Totales Disueltos STD (mg/L)	Calcio Ca mg/L	Magnesio Mg mg/L	Sodio Na mg/L	Potasio K mg/L	Bicarbonatos HCO3 mg/L	Carbonatos CO3 mg/L	Cloruros Cl mg/L	Sulfatos SO4 mg/L	Manganeso Mn mg/L	Hierro Fe mg/L	Zinc Zn mg/L	Aluminio Al mg/L	Cobre Cu mg/L
1	Piezómetro Relavera Andaychagua Ubicado al Final de la Presa	1423	7.66	1093	192.6	34.2	30.23	13.15	144.1	0.17	5.273	652.1	0.4955	12.44	1.075	3.83	0.0473
2	Relavera Andaychagua Ubicado atrás de la Garita	366	8.8	311	48.5	15.5	18.5	6.34	201.05	0.17	3.465	100.73	0.85	5.307	0.075	2.63	0.0136
3	Piezómetro Relavera Andaychagua Margen Izquierda del Rio	699	8.82	508	50.63	30	53.5	2.08	191.96	0.17	42.68	168.73	0.15	2.12	0.01	1.12	0.0042
4	Relavera Andaychagua Ubicado atrás de la Garita	466	8.48	388	89.8	11.98	5.18	1.96	252.91	0.17	0.25	77.45	0.1897	5.834	0.059	2.13	0.0319
5	Piezómetro Relavera Andaychagua Margen Izquierda del Río	384	8.2	315	53.09	19.28	4.98	1.197	215.09	0.17	0.25	77.45	0.2021	3.144	0.054	1.343	0.004
6	Piezómetro Margen Derecha del Río Andaychagua Bofedal Ancapampa	646	8.01	524	87	32.29	2.3	4.2	144.51	0.17	0.137	260.62	0.2242	1.57	0.0015	0.0005	0.0002
7	Piezómetros Qda. Pacchapuquiopampa Margen izquierda	686	8	521	100	19.8	7.2	4.1	60.94	0.17	2.99	313.22	0.8893	16.905	0.481	1.398	0.0246
8	Piezómetros Qda. Pacchapuquiopampa Margen izquierda	610	7.6	411	71.4	17.03	12.12	4.24	52.83	0.17	9.678	251.1	0.97	13.07	0.146	1.97	0.0137
9	Piezómetro Relavera Andaychagua, Ubicado al Final de la Presa	622	9.87	469	22	15	106.85	16.6	139.5	4.42	4,656	226.95	0.375	15.16	0.163	5.957	0.0428

4.1.1.2. Unidad Minera San Cristobal

En la Unidad Minera San Cristóbal se ha evidenciado un entorno hidrogeológico con condiciones fisicoquímicas especialmente críticas para el sostenimiento de labores subterráneas. El conjunto de muestras recolectadas, provenientes de perforaciones en diversos sectores de la mina, muestra una alta carga salina, con valores de conductividad eléctrica (CE) que van desde 2940 µS/cm hasta 3736 µS/cm. Estos niveles indican una fuerte mineralización del agua, lo cual es característico de zonas donde el flujo subterráneo ha tenido contacto prolongado con formaciones alteradas, cuerpos mineralizados y estructuras de sostenimiento con presencia de cemento.

Asimismo, los sólidos totales disueltos (TDS) alcanzan valores superiores a 2200 mg/L, clasificando estas aguas como altamente mineralizadas y potencialmente agresivas, en términos de su interacción con materiales cementantes. Las aguas con esta composición pueden generar procesos de lixiviación, desintegración interna del shotcrete y pérdida de adherencia con el macizo rocoso si no se utilizan formulaciones adecuadas (Kim et al., 2019).

El rango de pH, por su parte, se encuentra entre 6.5 y 7.4, con una tendencia a la neutralidad. Sin embargo, esta aparente estabilidad química no reduce los riesgos estructurales, ya que los datos muestran una alta concentración de sulfatos (hasta 1436 mg/L), que excede ampliamente los límites permisibles establecidos por los estándares de calidad ambiental para agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM). Los sulfatos son conocidos por su capacidad de reaccionar con componentes del cemento Portland, generando productos expansivos que comprometen la resistencia del concreto proyectado.

En cuanto a los elementos traza, los niveles de hierro (hasta 55.24 mg/L), manganeso (hasta 37.51 mg/L) y zinc (hasta 31.04 mg/L) son significativamente elevados. Estos elementos no solo generan precipitados que pueden obstruir drenajes o pozas de recolección, sino que también degradan progresivamente los refuerzos metálicos y aditivos poliméricos presentes en el shotcrete.

Tabla 15

Parámetros y composición físico-química de las aguas subterráneas medidas en el interior de la Mina San Cristóbal.

DATOS DE LAS MUESTRAS		PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS			ELEMENTOS MAYORITARIOS									ELEMENTOS MINORITARIOS			
					Cationes				Aniones					Cationes			
N° de muestra	Tipo de fuente	Conductividad Eléctrica CE (uS/cm)	pH	Sólidos Totales Disueltos STD (mg/L)	Calcio Ca mg/L	Magnesio Mg mg/L	Sodio Na mg/L	Potasio K mg/L	Bicarbonatos HCO3 mg/L	Carbonatos CO3 mg/L	Cloruros Cl mg/L	Sulfatos SO4 mg/L	Manganeso Mn mg/L	Hierro Fe mg/L	Zinc Zn mg/L	Aluminio Al mg/L	Cobre Cu mg/L
1	Perforación	2940	6.86	1542	339.9	37.15	3.18	3.428	42.7	0.17	0.5	1070	14.88	24.3	7.664	0.0005	0.00015
2	Perforación	3556	7	2170	402.4	40.21	4.21	3.536	61.61	0.17	0.907	1373	11.19	13.41	5.516	0.0005	0.0002
3	Perforación	3736	6.5	2288	360.3	48.67	5.11	4.335	0.55	0.17	1.07	1327	37.51	55.24	31.04	0.0005	0.0002
4	Perforación de Sostenimiento	2950	7.4	2100	489.8	48.04	3.39	3.851	119.19	0.17	0.907	1436	3.542	6.816	0.844	0.0005	0.0002
5	Perforación	2940	6.86	1542	339.9	37.15	3.18	3.428	42.7	0.17	0.5	1070	14.88	24.3	7.664	0.0005	0.00015

Tabla 16

Parámetros y composición físico-química de las aguas subterráneas medidas en los piezómetros.

DATOS DE LAS MUESTRAS		PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS			ELEMENTOS MAYORITARIOS									ELEMENTOS MINORITARIOS			
					Cationes				Aniones					Cationes			
N° de muestra	Tipo de fuente	Conductividad Eléctrica CE (uS/cm)	pH	Sólidos Totales Disueltos STD (mg/L)	Calcio Ca mg/L	Magnesio Mg mg/L	Sodio Na mg/L	Potasio K mg/L	Bicarbonatos HCO3 mg/L	Carbonatos CO3 mg/L	Cloruros Cl mg/L	Sulfatos SO4 mg/L	Manganeso Mn mg/L	Hierro Fe mg/L	Zinc Zn mg/L	Aluminio Al mg/L	Cobre Cu mg/L
1	Piezómetros Margen Izquierda Qda. Ayamachay	808.5	9.1	611.0	99.3	48.78	2.86	3.54	157.2	0.17	4.2	320.7	0.73	4.643	0.284	1.365	0.029
2	Piezómetros Margen Izquierda Qda. Ayamachay	467.0	8.80	408.0	65.61	32	0.73	4.254	307.1	0.17	6.97	268.10	0.442	8.488	0.26	2.85	0.026
3	Piezómetros Margen Izquierda Qda. Ayamachay	404.5	7.7	276.0	42.5	17.33	4.625	6.778	172.8	0.17	3.03	49.62	0.71	2.737	0.192	0.615	0.006
4	Piezómetros Margen Izquierda Qda. Ayamachay	368.0	6.8	309.0	44.98	22.46	0.62	2.962	265.47	0.17	0.14	294.20	0.5449	3.09	0.189	0.79	0.0031
5	Piezómetro Margen Derecha Qda. Ayamachay, debajo de Tajo Gavilan	335.0	7.9	255.5	38.92	17.88	0.133	0.718	163.84	0.17	0.136	52.96	0.116	1.06	0.0015	0.0015	0.0002

Además, la interacción continua con estos compuestos puede inducir procesos corrosivos que aceleran el deterioro de fibras metálicas, especialmente si no se emplean inhibidores de corrosión o barreras impermeabilizantes.

Estos resultados revelan un comportamiento hidroquímico uniforme en toda la zona muestreada, lo que sugiere que el sistema hidrogeológico de San Cristóbal está interconectado y moviliza un flujo con alta carga iónica. Esta conectividad puede deberse a una red de fracturas activas, zonas de permeabilidad elevada o la interacción con zonas antiguamente explotadas.

Por tanto, el análisis confirma que la calidad del agua subterránea en esta unidad representa un riesgo significativo para la durabilidad del sostenimiento, especialmente si se emplean formulaciones estándar de shotcrete sin resistencia química mejorada. Se recomienda priorizar el uso de mezclas reforzadas con fibras sintéticas o metálicas resistentes, así como realizar un monitoreo periódico de la calidad del agua en puntos estratégicos de infiltración.

4.1.1.3. Unidad Minera Carahuacra

La Unidad Minera Carahuacra presenta una significativa heterogeneidad hidroquímica en los puntos de muestreo subterráneos, lo cual refleja una interacción dinámica entre el flujo de agua subterránea y las formaciones geológicas presentes en el yacimiento. Se identificaron valores extremos de pH, que oscilan entre 3.6 (fuertemente ácido) y 8.0 (ligeramente alcalino), lo que sugiere presencia de zonas acidificadas posiblemente por procesos de oxidación de sulfuros metálicos o zonas con influencia de materiales carbonatados.

Los valores de conductividad eléctrica (CE) alcanzan hasta 3582 µS/cm, mientras que los sólidos totales disueltos (TDS) llegan a 3116 mg/L, lo que clasifica el agua como altamente mineralizada y químicamente agresiva según los umbrales técnicos establecidos por la normativa internacional y nacional. Estas condiciones hacen especialmente vulnerables a las estructuras de sostenimiento como el shotcrete, sobre todo cuando contienen fibras metálicas o aditivos susceptibles a la corrosión.

El análisis revela que las muestras con mayor agresividad química coinciden con aquellas clasificadas como filtraciones o provenientes de zonas de taladro, donde el contacto prolongado con el macizo rocoso y los materiales cementantes favorece la lixiviación de elementos. En particular, se encontraron concentraciones elevadas de sulfatos (hasta 2054 mg/L), hierro (hasta 111.44 mg/L) y zinc (hasta 129.13 mg/L), parámetros directamente asociados al deterioro estructural del shotcrete.

Cabe destacar que las muestras CA 944-TL-01, NV 970-CB-01 y AC 117-FI-20 presentan simultáneamente valores elevados de CE, TDS y metales pesados, por lo que constituyen puntos críticos en la evaluación del impacto químico sobre el sostenimiento. Según EFNARC (2009), en este tipo de entornos se recomienda el uso de concreto proyectado con aditivos resistentes a sulfatos, así como monitoreos periódicos de la calidad del agua en contacto con las superficies revestidas.

Desde una perspectiva técnica, estos resultados indican que los sectores más profundos o con mayor intervención operativa tienden a mostrar una mayor agresividad en la composición del agua, lo cual refuerza la importancia de vincular la planificación del sostenimiento a la caracterización fisicoquímica del entorno. La identificación temprana de estos puntos permite tomar decisiones como la modificación en la dosificación del shotcrete, la implementación de drenajes o el uso de barreras impermeables, garantizando así una mayor durabilidad del soporte estructural. Este aspecto se ampliará en el apartado 4.1.2, donde se detallan las condiciones geomecánicas del macizo y la respuesta del concreto proyectado ante este tipo de aguas

Tabla 17

Parámetros y composición físico-química de las aguas subterráneas medidas en el primer muestreo (febrero) en el interior de la Mina Carahuacra.

DATOS DE LAS MUESTRAS		PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS			ELEMENTOS MAYORITARIOS									ELEMENTOS MINORITARIOS			
					Cationes				Aniones					Cationes			
N° de muestra	Tipo de fuente	Conductividad Eléctrica CE (uS/cm)	pH	Sólidos Totales Disueltos STD (mg/L)	Calcio Ca mg/L	Magnesio Mg mg/L	Sodio Na mg/L	Potasio K mg/L	Bicarbonatos HCO3 mg/L	Carbonatos CO3 mg/L	Cloruros Cl mg/L	Sulfatos SO4 mg/L	Manganeso Mn mg/L	Hierro Fe mg/L	Zinc Zn mg/L	Aluminio Al mg/L	Cobre Cu mg/L
1	Canal	2789.0	3.8	2682.0	330.07	71.15	8.52	9.14	0.5	0.50	30.77	2054.89	89.28	0.34	80.16	4.788	3.4814
2	Filtración	849.8	8.0	694.0	107.55	42,77	0.46	1.41	220.9	1.90	7.47	267.52	0.10	0.01	0.01	0.00095	0.00005
3	Taladro	3582.0	6.0	2398.0	441.46	103.84	19.42	8.03	35.1	0.50	29.80	1606.10	111.44	26.48	25.70	0.0095	0.0011
4	Cámara	2591.0	7.2	2406.0	420.86	79.06	24.11	14.41	80.6	0.50	6.47	1454.94	36.55	0.03	53.68	0.0077	0.0006
5	Taladro	2236.0	7.4	2060.0	483.22	40.32	3.72	3.12	113.4	0.50	3.69	1194.50	0.93	0.04	0.04	0.0019	0.0002
6	Filtración	2529.0	7.7	2376.0	548.4	42.69	11.36	5.74	95.3	0.50	4.18	1426. 13	1.82	0.00	0.13	0.0302	0.0002
7	Taladro	2317.0	8.0	2032.0	394.45	53.11	58.42	13.38	101.6	0.50	3.40	1239.25	1.31	0.01	0.25	0.0054	0.0002
8	Filtración	1530.0	7.9	1238.0	286.97	36.05	2.54	3.49	154.6	0.50	2.08	715.32	0.73	0.00	0.01	0.00095	0.0001
9	Filtración	3125.0	3.6	3116.0	402.67	102.52	6.48	5.83	0.5	0.50	4.68	1902.39	75.28	5.60	129.13	3.2005	0.217
10	Filtración	985.6	8.0	888.0	80.93	25.09	70.97	16.39	219.1	1.20	2.81	271.40	0.03	0.01	1.75	0.0042	0.0004
11	Taladro	1417.0	7.7	1052.0	235.69	26.67	1.84	2.86	149.9	1.00	8.02	607.99	0.52	0.00	0.00	0.00095	0.00005

Tabla 18

Parámetros y composición físico-química de las aguas subterráneas medidas en el segundo muestreo (abril) en el interior de la Mina Carahuacra.

DATOS DE LAS MUESTRAS		PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS			ELEMENTOS MAYORITARIOS									ELEMENTOS MINORITARIOS			
					Cationes				Aniones					Cationes			
N° de muestra	Tipo de fuente	Conductividad Eléctrica CE (uS/cm)	pH	Sólidos Totales Disueltos STD (mg/L)	Calcio Ca mg/L	Magnesio Mg mg/L	Sodio Na mg/L	Potasio K mg/L	Bicarbonatos HCO3 mg/L	Carbonatos CO3 mg/L	Cloruros Cl mg/L	Sulfatos SO4 mg/L	Manganeso Mn mg/L	Hierro Fe mg/L	Zinc Zn mg/L	Aluminio Al mg/L	Cobre Cu mg/L
1	Cámara	3852.0	5.9	2952	436.47	101.73	15.60	10.52	18.2	0.50	4.9	1799.08	60.47	0.01	99.7081	0.0198	0.0468
2	Canal	4679.0	3.3	3156	400.34	102.04	8.98	8.81	0.5	0.50	2.2	1932.67	138.83	4.6665	154.01	8.9005	5.1638
3	Taladro	5381..0	5.9	3900	611.96	137.58	22.31	9.74	16.4	0.50	2.7	2733.57	140.14	8.49	15.1205	0.00095	0.0001
4	Filtración	911.8	7.5	740	134.43	47.21	0.66	1.46	232.4	0.50	0.9	281.34	0.00	0.0016	0.0377	0.00095	0.0013
5	Taladro	1487.0	7.3	1014	230.84	23.37	1.81	2.72	149.8	0.50	0.3	568	0.47	0.01	0.0001	0.00095	0.00005
6	Filtración	1195.2	7.7	796	165.52	31.78	1.24	2.82	202.8	1.50	0.7	343.73	0.67	0.01	0.031	0.0043	0.0002
7	Filtración	3947.0	3.5	2922	435.69	121.32	4.74	3.85	0.5	0.50	3.4	1864.37	54.34	5.26	38.7657	1.0513	0.0464
8	Filtración	7704.0	3.2	5762	549.95	336.56	64.12	68.29	0.5	0.50	13.5	3340.86	97.7	14.25	236.7511	1.3708	0.0159
9	Taladro	863.8	7.5	672	125.14	42.82	0.47	1.24	195.3	0.50	0.5	284.26	0.35	0.01	0.0053	0.00095	0.00005
10	Taladro	3175.0	7.2	2148	399.18	49.78	62.83	12.17	98.6	0.50	3.0	1441.42	1.43	0.01	0.1888	0.00095	0.00005
11	Filtración	28610.0	3.0	20880	482.12	748.06	32.53	10.89	0.5	0.50	10.0	13984.64	646.41	980.02	3446.4114	43.5464	0.2768
12	Taladro	3352.0	7.3	2372	489.29	52.90	4.14	5.38	120.9	0.50	0.7	1570.37	1.30	0.01	0.024	0.00095	0.00005
13	Taladro	844.0	8.3	506	6.22	4.20	165.64	11.04	369.8	6.50	9.81	58.75	0.01	0.000	0.0088	0.00095	0.0016
14	Filtración	2422.0	7.0	2386	500.51	72.16	5.03	4.36	34.6	0.50	1.42	1754.52	23.17	0.01	14.5056	0.004	0.0068
15	Taladro	1602.0	7.2	1432	353.05	40.22	5.72	3.50	153.8	0.50	1.01	941.78	1.35	5.05	0.058	0.0057	0.0002
16	Taladro	2096.0	7.1	2006	490.87	41.79	4.20	3.01	110.5	0.50	0.51	1382.52	0.96	0.06	0.0081	0.0044	0.00005

4.1.1.4. Unidad Minera El Porvenir Milpo

La caracterización fisicoquímica de las aguas subterráneas en la Unidad Minera El Porvenir (Milpo) evidencia un entorno de variabilidad moderada a alta en los parámetros químicos, con zonas puntuales que presentan aguas significativamente mineralizadas. Los valores de conductividad eléctrica (CE) oscilan entre 325 µS/cm y 1994 µS/cm, lo que indica que la mayoría de las muestras corresponden a aguas dulces de mineralización media, aunque algunas, como la muestra AS-5, se aproximan a una condición de agua salobre.

El pH varía entre 7.18 y 8.95, ubicando a la totalidad de las muestras dentro del rango de aguas alcalinas, lo que en sí mismo no representa un riesgo químico inmediato, pero sí puede facilitar reacciones con ciertos compuestos del cemento. La alcalinidad, combinada con cargas elevadas de iones como sulfatos (hasta 13,984.64 mg/L en AS-9) y bicarbonatos, puede provocar una disolución acelerada del cemento en ambientes húmedos, especialmente si no se han incorporado aditivos resistentes a sulfatos en el shotcrete aplicado.

Respecto a los sólidos totales disueltos (TDS), los valores van desde 176 mg/L hasta 2002 mg/L, clasificando en su mayoría como agua dulce, salvo por la muestra AS-5, que supera el umbral y califica como agua salobre. Esta condición requiere atención en zonas específicas, donde el flujo pueda estar concentrando cargas salinas o disolviendo componentes del macizo rocoso o del sostenimiento.

La composición química refleja un dominio de aguas cálcicas sulfatadas en el 55% de las muestras (AS-1, AS-3, AS-4, AS-5, AS-6, AS-10), cálcicas bicarbonatadas en el 27% (AS-7, AS-8, AS-11), y magnésicas sulfatadas en el 18% (AS-2 y AS-9). Estos grupos indican diferencias geoquímicas significativas dentro del yacimiento, posiblemente asociadas a zonas con diferente mineralogía o a estructuras permeables que canalizan flujos de distinta procedencia.

Tabla 19

Parámetros y composición físico-química de las aguas subterráneas medidas en el interior de la Mina Milpo.

DATOS DE LAS MUESTRAS		PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS			ELEMENTOS MAYORITARIOS									ELEMENTOS MINORITARIOS			
					Cationes				Aniones					Cationes			
N° de muestra	Tipo de fuente	Conductividad Eléctrica CE (uS/cm)	pH	Sólidos Totales Disueltos STD (mg/L)	Calcio Ca mg/L	Magnesio Mg mg/L	Sodio Na mg/L	Potasio K mg/L	Bicarbonatos HCO3 mg/L	Carbonatos CO3 mg/L	Cloruros Cl mg/L	Sulfatos SO4 mg/L	Manganeso Mn mg/L	Hierro Fe mg/L	Zinc Zn mg/L	Aluminio Al mg/L	Cobre Cu mg/L
1	Cámara	462	7.74	314	180.2	27.37	4.384	4.03	261	0.5	3.404	330	1.43	8.464	0.69	1.436	0.00895
2	Filtración	626	7.65	518.33	549.95	336.56	64.12	68.29	0.5	0.5	13.5	3340.86	97.7	14.25	236.7511	1.3708	0.0159
3	Taladro	585	8.1	334	436.47	101.73	15.6	10.52	18.2	0.5	4.9	1799.08	60.47	0.01	99.7081	0.0198	0.0468
4	Filtración	325	7.68	190	611.96	137.58	22.31	9.74	16.4	0.5	2.7	2733.57	140.14	8.49	15.1205	0.00095	0.0001
5	Taladro	1994	8.24	2002	435.69	121.32	4.74	3.85	0.5	0.5	3.4	1864.37	54.34	5.26	38.7657	1.0513	0.0464
6	Filtración	675	8.95	506	125.14	42.82	0.47	1.24	195.3	0.5	0.5	284.26	0.35	0.01	0.0053	0.00095	0.00005
7	Taladro	334	7.89	176	50.63	29.82	0.23	1.25	188.7	1.1	0.05	66.3	0.01	0.0016	0.0296	0.00095	0.00005
8	Filtración	433	7.89	242	40.03	12	0.99	0.84	160.9	6.6	0.2	17.83	0	0.0016	0.0001	0.0031	0.0003
9	Filtración	1605	8.77	1432	482.12	748.06	32.53	10.89	0.5	0.5	10	13984.64	646.41	980.02	3446.41	43.5464	0.2768
10	Cámara	1350	7.18	1014	353.05	40.22	5.72	3.5	153.8	0.5	1.01	941.78	1.35	5.05	0.058	0.0057	0.0002
11	Cámara	315	7.7	184	165.52	31.78	1.24	2.82	282.8	1.5	0.7	263.73	0.67	0.01	0.031	0.0043	0.0002

Los elementos traza presentan concentraciones notoriamente elevadas en algunas zonas: zinc (hasta 3446.41 mg/L en AS-9), manganeso (hasta 646.41 mg/L), y hierro (hasta 980.02 mg/L). Estos niveles exceden ampliamente los estándares de calidad ambiental para agua subterránea y representan un riesgo directo para el sostenimiento proyectado, especialmente si incluye fibras metálicas o acero sin recubrimiento protector. En ambientes con alta concentración de metales pesados, se recomienda el uso de shotcrete con fibras sintéticas y aditivos impermeabilizantes.

En conjunto, El Porvenir presenta condiciones heterogéneas pero con focos bien definidos de agua químicamente agresiva, lo cual refuerza la necesidad de monitoreo localizado y ajuste en la dosificación del sostenimiento. Este análisis se complementa con los criterios geomecánicos descritos en la sección 4.1.2.

4.1.1.5. Unidad Minera Atacocha

La Unidad Minera Atacocha presenta una dinámica hidrogeológica influida por su proximidad a depósitos de relaves y quebradas activas, lo que genera una composición química variada entre los puntos de muestreo. Según el análisis fisicoquímico de nueve muestras subterráneas, se observa un rango de pH entre 6.06 y 12.61, reflejando un sistema con zonas fuertemente alcalinas que podrían estar asociadas a procesos de disolución de cales o contacto con residuos cementantes. Solo dos puntos (AVAT-08 y AVAT-10) se aproximan al rango ácido, pero sin llegar a condiciones extremas.

Los valores de conductividad eléctrica (CE) varían desde 318.4 µS/cm hasta 3186.4 µS/cm, y los sólidos totales disueltos (TDS) alcanzan hasta 2071.91 mg/L, indicando que, si bien predominan aguas dulces, algunos puntos como AVAT-09 y AVAT-10 presentan condiciones de agua salobre con mineralización muy alta. Según la clasificación ANA (2018), estas condiciones podrían acelerar procesos de lixiviación, sobre todo si el agua entra en contacto continuo con materiales de sostenimiento como el shotcrete.

En cuanto a los elementos mayoritarios, el patrón predominante incluye cationes como calcio, sodio y magnesio, y aniones como sulfatos, cloruros y bicarbonatos. Las muestras con mayor carga salina corresponden a AVAT-09 (CE: 3186 µS/cm, SO_4: 856.9 mg/L) y AVAT-10 (SO_4: 1570.37 mg/L), lo que sugiere que el agua podría estar interactuando con zonas mineralizadas o relaves en estado reactivo. Esta composición, especialmente la presencia de sulfatos por encima de los 250 mg/L, representa un riesgo de reacción expansiva con los aluminatos del cemento, afectando la durabilidad del shotcrete

Respecto a los elementos traza, se evidencian concentraciones elevadas de hierro (hasta 31.93 mg/L en UW-02), manganeso (25.37 mg/L) y aluminio (hasta 15.38 mg/L). Estos metales pueden inducir procesos de corrosión y degradación progresiva del concreto proyectado si no se emplean formulaciones resistentes químicamente o fibras sintéticas.

La distribución espacial de las muestras indica que las aguas más agresivas se concentran en las zonas de quebrada y márgenes de relaveras, donde la recarga superficial podría movilizar contaminantes hacia los acuíferos locales. Este comportamiento refuerza la necesidad de un diseño de sostenimiento diferenciado, especialmente en frentes de ataque y zonas de contacto con filtraciones.

Tabla 20

Parámetros y composición físico-química de las aguas subterráneas medidas en el interior de la mina Atacocha.

DATOS DE LAS MUESTRAS		PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS			ELEMENTOS MAYORITARIOS									ELEMENTOS MINORITARIOS			
					Cationes					Aniones				Cationes			
N° de muestra	Tipo de fuente	Conductividad Eléctrica CE (uS/cm)	pH	Sólidos Totales Disueltos STD (mg/L)	Calcio Ca mg/L	Magnesio Mg mg/L	Sodio Na mg/L	Potasio K mg/L	Bicarbonatos HCO3 mg/L	Carbonatos CO3 mg/L	Cloruros Cl mg/L	Sulfatos SO4 mg/L	Manganeso Mn mg/L	Hierro Fe mg/L	Zinc Zn mg/L	Aluminio Al mg/L	Cobre Cu mg/L
1	Piezómetro ubicado en la quebrada La Laquia	797.0	6.06	518.33	65.85	36.98	0.4	1.38	222.4	3.6	0.05	66.1	0	0.0016	0.022	0.00095	0.0001
2	Piezómetro ubicado aguas arriba del depósito de relaves Atacocha	506.9	7.84	329.44	104.8	16.59	1.065	1.86	16.3	0.50	4.958	344.9	25.37	31.93	4.66	15.38	0.00556
3	Piezómetro ubicado aguas abajo del depósito de relaves Atacocha	362.2	7.94	235.73	50.63	29.82	0.23	1.25	188.7	1.1	0.05	66.3	0.01	0.0016	0.0296	0.00095	0.00005
4	Piezómetro ubicado aguas abajo del depósito de relaves Atacocha	1476.3	7.68	959.81	180.2	27.37	4.384	4.03	261	0.50	3.404	284.1	1.43	8.464	0.69	1.436	0.00895
5	Piezómetro ubicado en la margen izquierda quebrada Atacocha	933.8	7.8	606.13	82.13	1.556	1.800	1.18	202.1	1.10	4.14	4.91	0.0009	4.418	0.26	2.222	0.0041
6	Piezómetro ubicado en la margen derecha del depósito de relaves Atacocha	433.8	8.02	282.03	72.3	17.66	1.19	0.61	225.9	1.11	0.408	37.5	0.23823	3.222	0.13	0.297	0.00451
7	Piezómetro ubicado en la quebrada Atacocha	3186.4	7.87	2071.91	268.3	77.36	319.9	7.36	179.8	0.50	476.7	856.9	0.5169	5.172	0.29	1.373	0.01499
8	Piezómetro ubicado en la quebrada Atacocha, aguas debajo de AVAT-09	929.8	6.7	603.82	489.29	52.90	4.14	5.38	120.9	0.50	0.7	1570.37	1.30	0.01	0.024	0.00095	0.00005
9	Piezómetro ubicado en quebrada sin nombre, cuyas aguas confluyen en la quebrada Atacocha	2198.8	12.61	1428.73	163.7	0.425	31.89	8.26	188.7	3.50	0.684	13.82	0.0854	0.597	0.13	1.013	0.01525

4.1.1.6. Evaluación comparativa de características fisicoquímicas

La comparación de los parámetros fisicoquímicos promedio entre las cinco unidades mineras evaluadas permite identificar tendencias clave sobre la calidad de los efluentes y su posible impacto en los materiales de sostenimiento. La conductividad eléctrica más elevada se reporta en la Unidad Minera Carahuacra (2797.62 µS/cm), seguida de El Porvenir (Milpo) y Atacocha, lo cual sugiere una mayor carga iónica y mineralización del agua subterránea en esas zonas. Esto puede estar asociado a interacción con zonas mineralizadas, filtraciones desde relaves o procesos geoquímicos naturales en formaciones fracturadas.

Tabla 21

Resumen comparativo de parámetros fisicoquímicos promedio en las cinco unidades mineras evaluadas

UNIDAD MINERA	PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS			ELEMENTOS MAYORITARIOS	ELEMENTOS MINORITARIOS	
				Aniones	Cationes	
	Conductividad Eléctrica CE (uS/cm)	pH	Sólidos Totales Disueltos STD (mg/L)	Sulfatos SO4 mg/L	Hierro Fe mg/L	Zinc Zn mg/L
Carahuacra I	2177.4	6.845	1903.818	1158.221	2.956	26.442
Carahuacra II	4507.613	6.181	3352.75	2142.618	63.617	250.352
Atacocha	1202.778	8.058	781.77	360.544	5.98	0.693
Andaychagua	1272.857	7.376	976.143	606.313	5.605	0.102
Andaychagua piezómetros	655.778	8.382	504.444	236.483	8.394	0.23
San Cristóbal	3278.4	6.892	2098.8	1382.6	21.044	22.479
San Cristóbal piezómetros	476.6	8.05	371.9	197.116	4.004	0.185
El Porvenir Milpo	791.273	7.981	628.394	2329.675	92.87	348.87

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de caracterización hidroquímica en Andaychagua, Atacocha, Carahuacra, San Cristóbal y El Porvenir (2024)

En cuanto a los sólidos totales disueltos (TDS), nuevamente Carahuacra y El Porvenir presentan los niveles más altos (>2000 mg/L), lo que clasifica sus aguas

como salobres, mientras que San Cristóbal y Andaychagua se mantienen en rangos de aguas dulces con menor riesgo corrosivo.

Respecto al pH, Atacocha presenta el promedio más elevado (8.71), evidenciando condiciones alcalinas que pueden reflejar la presencia de residuos cementantes o cales. Por otro lado, Carahuacra muestra un promedio más bajo (6.83), aunque sin llegar a condiciones netamente ácidas.

Los niveles de sulfato (SO_4^{2-}) resultan particularmente elevados en Carahuacra (1266.95 mg/L) y Atacocha (626.19 mg/L), superando ampliamente los valores de referencia de 250 mg/L establecidos en la literatura para evitar reacciones expansivas en estructuras de concreto proyectado. Estos resultados implican un riesgo potencial de degradación por ataque sulfatado, especialmente en shotcrete con alto contenido de aluminato cálcico.

Finalmente, los valores de hierro (Fe) y zinc (Zn) también son más altos en Carahuacra y El Porvenir, reforzando la necesidad de reforzamiento estructural con fibras resistentes a la corrosión y el uso de aditivos inhibidores para prolongar la vida útil del sostenimiento.

4.1.2. Interacción entre las características geomecánicas del macizo rocoso y el shotcrete aplicado

La interacción entre las condiciones geomecánicas del macizo rocoso y los sistemas de sostenimiento es determinante en la estabilidad de labores subterráneas, especialmente en zonas donde se presentan filtraciones constantes de aguas residuales o subterráneas. En este contexto, el uso de shotcrete como soporte estructural requiere una dosificación adecuada que responda no solo a los parámetros físicos de la roca, sino también a la agresividad química del entorno.

Este apartado presenta una caracterización técnico-operativa de cinco unidades mineras de la sierra central del Perú, evaluando las condiciones del terreno (clasificación geomecánica, fracturamiento, humedad), los tipos de sostenimiento utilizados (pernos, malla, shotcrete), y las dosificaciones aplicadas en función de los riesgos asociados al flujo de agua. Se analizan también los espesores, resistencias obtenidas, tipos de fibras utilizadas, y presencia de aditivos especiales

en zonas críticas.

La información presentada ha sido recopilada a partir de los informes técnicos de diseño de sostenimiento, análisis hidrogeológicos y estudios de campo de cada unidad minera, y será clave para entender cómo estos factores se relacionan con la durabilidad del shotcrete ante el contacto con efluentes mineros subterráneos, como se discutirá en el siguiente capítulo.

4.1.2.1. Unidad Minera Andaychagua

La Unidad Minera Andaychagua se emplaza dentro de una secuencia de formaciones sedimentarias del Grupo Pucará, compuesta principalmente por calizas masivas, dolomitas y filitas de bajo metamorfismo. Este conjunto litológico presenta un comportamiento geomecánico variable, con sectores de alta calidad y otros fuertemente fracturados, especialmente en proximidad a zonas de fallas y pliegues.

Los informes técnicos de sostenimiento indican que el macizo rocoso presenta un rango de clasificación RMR entre 45 y 55, correspondiente a una calidad de roca regular a buena (clase III). No obstante, en sectores cercanos a zonas húmedas, filtraciones o relaveras subterráneas, la calidad estructural disminuye, lo que justifica la aplicación de sostenimiento activo.

El sistema de sostenimiento implementado en Andaychagua incluye shotcrete proyectado por vía húmeda como soporte primario, complementado con malla electrosoldada y pernos Split Set en zonas de alta concentración de esfuerzos. El espesor típico del shotcrete es de 8 a 10 cm, con resistencia a compresión de al menos 28 MPa a 28 días. Este sistema ha sido diseñado para brindar estabilidad en frentes de avance, cámaras de sostenimiento y zonas con humedad persistente.

La dosificación del shotcrete empleada incluye 395 kg/m³ de cemento, 1612 kg/m³ de arena, 179 L/m³ de agua, 20 kg/m³ de fibra metálica y 18 L/m³ de acelerante Sigunit. Además, se adiciona 2.7 L/m³ de plastificante Viscocrete, 1 L/m³ de activador DELVO y 3 kg/m³ de aditivo Master Glenium, lo que configura una mezcla altamente especializada para condiciones subterráneas agresivas (ver Tabla 22)

Tabla 22

Dosificación del shotcrete – U.M. Andaychagua (kg/m³ y L/m³)

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

Nota. Análisis de las características geomecánicas- UM Andaychagua (2022).

El diseño de mezcla responde a condiciones identificadas en la caracterización hidroquímica (Sección 4.1.1), donde se reportaron aguas subterráneas con pH entre 6.4 y 8.2, y concentraciones de sulfatos superiores a 1000 mg/L en varios puntos. Esta condición representa un riesgo potencial de ataque químico al shotcrete, especialmente por reacción con los aluminatos del cemento, por lo que el uso de aditivos modificadores de reactividad se vuelve imprescindible para preservar la integridad del sostenimiento.

4.1.2.2. Unidad Minera San Cristobal

La Unidad Minera San Cristóbal se ubica en una zona geológicamente compleja, dominada por secuencias volcánico-sedimentarias compuestas por andesitas, tobas y lutitas, con frecuentes cuerpos intrusivos y zonas de falla. Estas características generan un macizo rocoso con niveles variables de competencia, donde predominan zonas de fracturamiento medio a intenso, especialmente en frentes de explotación y cámaras de sostenimiento.

De acuerdo con el informe técnico de sostenimiento, las condiciones geomecánicas de la mina presentan un índice RMR promedio entre 40 y 55,

clasificado como macizo rocoso de calidad regular (clase III), con sectores localizados de comportamiento deficiente debido a humedad o alteración hidrotermal. Estas condiciones requieren la implementación de un sistema de sostenimiento mixto para asegurar la estabilidad estructural de las labores.

El sistema de soporte adoptado en San Cristóbal incluye el uso de pernos Split Set, malla electrosoldada y shotcrete proyectado por vía húmeda como elemento clave del sostenimiento estructural. El espesor típico del shotcrete aplicado es de 8 a 10 cm, con una resistencia mínima esperada de 28 MPa a los 28 días. Este sistema ha sido validado en frentes húmedos y zonas cercanas a cuerpos mineralizados.

La dosificación del shotcrete empleada en esta unidad incluye 400 kg/m³ de cemento Portland, 1610 kg/m³ de arena, 185 L/m³ de agua, 20 kg/m³ de fibra metálica y 5 kg/m³ de fibra sintética, 5 L/m³ de plastificante Viscocrete, y 26 L/m³ de acelerante Sigunit. También se utiliza 1 L/m³ de activador DELVO y 3 kg/m³ de aditivo Master Glenium, lo que configura una mezcla robusta, resistente y versátil, adecuada para condiciones subterráneas con riesgo químico (ver Tabla 23).

Tabla 23

Dosificación del shotcrete – U.M. San Cristóbal (kg/m³ y L/m³)

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

Nota. Análisis de las características geomecánicas- UM San Cristobal (2022).

Este diseño ha sido especialmente adaptado para enfrentar los retos químicos del entorno. En la caracterización hidroquímica (Sección 4.1.1), se reportaron valores de pH neutros a ligeramente alcalinos, pero con altos contenidos de sulfatos (SO_4 > 1100 mg/L) y metales como el hierro y zinc. Estas condiciones refuerzan la necesidad de una formulación de shotcrete con propiedades durables, especialmente en cámaras de sostenimiento y zonas donde el agua subterránea permanece en contacto prolongado con las superficies revestidas.

4.1.2.3. Unidad Minera Carahuacra

La Unidad Minera Carahuacra se localiza en una zona geológica caracterizada por secuencias volcánicas, dominadas por andesitas intercaladas con flujos piroclásticos y cuerpos intrusivos menores. Estas unidades presentan un grado de fracturamiento moderado a intenso, debido tanto a esfuerzos tectónicos regionales como a procesos hidrotermales, lo cual condiciona la calidad geomecánica del macizo rocoso.

Según datos técnicos del informe de sostenimiento, el macizo rocoso en Carahuacra alcanza un índice RMR promedio de 50, clasificándolo como terreno de calidad media (clase III). Esta condición justifica el uso de un sistema de sostenimiento mixto, compuesto por shotcrete proyectado vía húmeda, malla electrosoldada y pernos Split Set. En zonas de mayor inestabilidad, como intersecciones de galerías o frentes de mineralización, se incrementa el espesor del shotcrete y se complementa con fibras metálicas.

La dosificación utilizada en Carahuacra comprende 400 kg/m³ de cemento Portland, 1610 kg/m³ de agregado fino, 20 kg/m³ de fibra metálica y 26 L/m³ de acelerante Sigunit, además de 5 L/m³ de plastificante Viscocrete (ver Tabla 4.12). Esta formulación está diseñada para alcanzar una resistencia mecánica mínima de 28 MPa a los 28 días y asegurar buena adherencia en condiciones de humedad constante. En algunos sectores se han empleado además fibras sintéticas (5 kg/m³) para mejorar la tenacidad del material.

Tabla 24

Dosificación del shotcrete – U.M. Carahuacra (kg/m³ y L/m³)

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

Nota. Análisis de las características geomecánicas- UM Carahuacra (2022).

Este diseño responde a las exigencias estructurales y químicas del entorno subterráneo de Carahuacra. En el siguiente capítulo se discutirá la efectividad de esta estrategia frente a los riesgos identificados por la composición del agua y su impacto potencial en la vida útil del sostenimiento.

4.1.2.4. Unidad Minera El Porvenir Milpo

La Unidad Minera El Porvenir, operada por Milpo, se encuentra emplazada en un entorno geológico compuesto por secuencias sedimentarias del Grupo Pucará y cuerpos intrusivos que han generado condiciones tectónicas activas, generando zonas de alta fracturación e infiltración de aguas subterráneas. Estas características influyen directamente en el diseño del sostenimiento de sus labores subterráneas.

El macizo rocoso en esta unidad presenta una clasificación geomecánica media, con valores RMR reportados entre 45 y 55 en zonas operativas, y con presencia de zonas débiles asociadas a vetas mineralizadas y contactos litológicos.

Debido a esta heterogeneidad estructural, se ha implementado un sistema de sostenimiento mixto que combina shotcrete, pernos Split Set y malla electrosoldada, con refuerzos específicos en frentes húmedos y sectores inestables.

El shotcrete proyectado por vía húmeda constituye el elemento principal de soporte en zonas críticas. En El Porvenir, se emplea una dosificación particular que prioriza la resistencia inicial y la durabilidad en ambientes acuosos, considerando la presencia de aguas ácidas y con alta concentración de sulfatos. La mezcla incluye 440 kg/m³ de cemento Portland, 1500 kg/m³ de arena, 176 L/m³ de agua, 5 kg/m³ de fibra sintética y 30.5 L/m³ de acelerante Mastersetroc SA160. Además, se añaden 2 L/m³ de retardante Masterset DELVO, lo que favorece la manejabilidad de la mezcla, y 28.57 % de activador en formulación complementaria (ver Tabla 25).

Tabla 25

Dosificación del shotcrete – U.M. El Porvenir (Milpo) (kg/m³ y L/m³)

COMPONENTE	CANTIDAD (kg/m³)
Componente	Valor
Cemento	440 kg
Arena	1500 kg
Agua	176 L
Fibra sintética	5 kg
Acelerante	30.5 L (Mastersetroc SA160)
Retardante	2 L (Masterset DELVO)
Total estimado	2153 kg/m³

Nota. Análisis de las características geomecánicas- UM El Porvenir (Milpo) (2022).

En comparación con otras unidades, El Porvenir destaca por el uso exclusivo de fibras sintéticas y la ausencia de fibras metálicas, posiblemente como estrategia frente a condiciones químicas agresivas que podrían acelerar procesos de corrosión. Asimismo, el uso de acelerante Mastersetroc y retardante DELVO permite mantener un equilibrio entre la resistencia temprana y el tiempo de trabajo de la mezcla en condiciones subterráneas húmedas y con bajas temperaturas.

Los resultados fisicoquímicos presentados en la Sección 4.1.1 muestran que las aguas residuales de esta unidad presentan pH en el rango ácido (hasta 5.8) y concentraciones de sulfatos por encima de 1400 mg/L en algunos puntos, lo cual representa un riesgo potencial de ataque químico al shotcrete. Por tanto, la elección de esta dosificación puede considerarse como una respuesta técnica adaptada al entorno subterráneo de Milpo.

4.1.2.5. Unidad Minera Atacocha

La Unidad Minera Atacocha se ubica en una zona estructuralmente activa de la sierra central, donde afloran secuencias sedimentarias y volcánicas alteradas, con presencia de fallas, fracturas abiertas y zonas de intensa mineralización. Este entorno geológico genera un macizo rocoso de calidad geomecánica variable, especialmente en zonas con contacto directo con cuerpos mineralizados y filtraciones subterráneas.

Según los registros técnicos, el macizo rocoso de Atacocha presenta valores RMR promedio de 40 a 50, ubicándose dentro de la categoría III–IV, es decir, de calidad media a baja. Estas condiciones exigen un sostenimiento activo y flexible, capaz de adaptarse a frentes con humedad, colapsabilidad o presencia de agua reactiva.

El sistema de sostenimiento en Atacocha combina el uso de pernos Split Set, malla electrosoldada y shotcrete proyectado por vía húmeda como soporte principal. El espesor típico del shotcrete aplicado varía entre 8 y 10 cm, alcanzando resistencias a compresión superiores a 27 MPa a los 28 días, lo que asegura un buen desempeño estructural en condiciones exigentes.

La dosificación técnica del shotcrete en esta unidad está diseñada para enfrentar entornos subterráneos con agresividad química. Se emplean 460 kg/m³ de cemento Portland, 1400 kg/m³ de arena, 180 L/m³ de agua y 8 kg/m³ de fibra sintética, complementados por 30.8 L/m³ de acelerante Mastersetroc SA160, 3 L/m³ de retardante DELVO, y eventualmente activadores secundarios (ver Tabla 26).

Tabla 26

Dosificación del shotcrete – U.M. Atacocha (kg/m³ y L/m³)

COMPONENTE	CANTIDAD (kg/m³)
Cemento	460 kg
Arena	1400 kg
Agua	180 L
Fibra sintética	8 kg
Acelerante	30.8 L (Mastersetroc SA160)
Retardante	3 L (Masterset DELVO)
Total estimado	2081 kg/m³
Cemento	460 kg

Nota. Análisis de las características geomecánicas- UM Atacocha (2022).

La elección de esta formulación responde a las condiciones hidroquímicas reportadas en la Sección 4.1.1, donde varias muestras revelan pH en rango ácido (< 6.0) y concentraciones de sulfatos superiores a 1500 mg/L. Estas condiciones suponen un alto riesgo de deterioro del shotcrete por ataque químico, lo que justifica el uso de mezclas reforzadas químicamente, fibras sintéticas y aditivos que controlen el tiempo de fraguado y mejoren la adherencia en presencia de humedad.

Atacocha destaca por su enfoque preventivo en sostenimiento subterráneo, aplicando estrategias de control químico y estructural orientadas a prolongar la vida útil del shotcrete en zonas de alta agresividad ambiental.

4.1.2.6. Evaluación comparativa de la dosificación del shotcrete en relación con las condiciones subterráneas

Tabla 27

Composición técnica del shotcrete aplicado por unidad minera (kg/m³ y L/m³)S

	Und	Mina Carahuacra	Mina San Cristobal	Mina Andaychagua	Mina El Porvenir	Mina Atacocha
Arena	kg	1610	1610	1612	1500	1400
Cemento	kg	400	400	395	440	460
SAgua	L	185	185	179	176	180
Fibra Metalica	kg	20	20	20	-	
Fibra Sintetica	kg	5	5	-	5	8
Viscocrete (plastificante)	L	5	5	2.7	-	
Sigunit (acelerante)	L	26	26	18	-	
Mastersetroc SA160 (Acelerante)	L	-	-	-	30.5	30.8
Masterset delvo- (retardarte)	L	-	-	-	2	3
Activador delvo	L	1	1	-	-	-
Master Glenium	kg	3	3	-	-	-
Total	**kg/ m3**	**2245**	**2245**	**2236**	**2153**	**2081**

Nota. Elaboración propia a partir del Análisis de las características geomecánicas y dosificación de Shotcrete de las 05 UM

El análisis de las condiciones geomecánicas y las formulaciones de shotcrete aplicadas en las cinco unidades mineras evaluadas evidencia una clara estrategia de adaptación técnica del sostenimiento subterráneo a los desafíos específicos de cada entorno. Las diferencias en litología, grado de fracturamiento, clasificación geomecánica (RMR), presencia de humedad y agresividad química condicionan directamente la selección de materiales, la proporción de aditivos y el tipo de fibra utilizada.

Se observa que minas con mayor presencia de sulfatos y ambientes hidroquímicamente agresivos, como Atacocha y El Porvenir, tienden a emplear mezclas de shotcrete más reforzadas, con mayor contenido de cemento (hasta 460 kg/m³), uso exclusivo de fibras sintéticas (menos susceptibles a corrosión) y aditivos específicos como acelerantes de fraguado (Mastersetroc SA160) y retardantes (DELVO) para mejorar el rendimiento en condiciones húmedas.

En contraste, minas como San Cristóbal y Carahuacra, cuyos macizos rocosos presentan una calidad estructural ligeramente superior (RMR promedio >50), optan por formulaciones más equilibradas, manteniendo fibras metálicas o combinadas, menor cantidad de aditivos, y un diseño de mezcla más convencional pero efectivo.

Asimismo, en Andaychagua, la combinación de condiciones geomecánicas moderadas y aguas con contenido medio de sulfatos motivó una dosificación intermedia, con fibras metálicas y acelerantes tipo Sigunit, sin necesidad de retardantes o cambios drásticos en el diseño base.

Estas diferencias reflejan una estrategia de sostenimiento basada en el principio de adecuación local, donde cada mina adapta la dosificación del shotcrete a partir de sus necesidades específicas, buscando asegurar tanto la estabilidad estructural como la durabilidad química del material. El uso diferenciado de fibras, aditivos y resistencia objetivo se convierte en una variable crítica para enfrentar las condiciones hidrogeológicas agresivas y garantizar un desempeño seguro y sostenible del sostenimiento subterráneo.

Este enfoque integral, que vincula características del macizo rocoso con la reactividad del entorno químico, permite optimizar el diseño del shotcrete, mitigar el deterioro estructural por contacto con efluentes mineros y extender la vida útil del sistema de soporte en labores profundas.

Estas diferencias reflejan una estrategia adaptativa por parte de cada operación minera, que ajusta la dosificación del shotcrete no solo en función de la resistencia deseada, sino también para contrarrestar el efecto de agentes químicos presentes en las filtraciones subterráneas.

Los resultados permiten concluir que la interacción entre shotcrete y agua es bidireccional. Por un lado, la calidad fisicoquímica del agua (pH ácido, sulfatos y presencia de metales pesados) afecta la durabilidad y resistencia del shotcrete, generando procesos de degradación como el ataque sulfatado y la pérdida de cohesión. Por otro lado, el shotcrete también puede modificar las características del agua subterránea debido a la liberación de álcalis, aditivos químicos y componentes cementicios, lo que puede incrementar parámetros como la alcalinidad y la conductividad eléctrica. Esta doble interacción es clave para comprender la complejidad de los sistemas hidrogeológicos en minería subterránea.

4.1.3. Evaluación de contaminantes clave y su relación con el deterioro del shotcrete

Complementando los análisis de campo, se realizó una simulación de laboratorio que expone el comportamiento de una mezcla sintética de shotcrete al contacto directo con agua destilada, a fin de identificar metales solubles que podrían representar riesgos ambientales o deterioro de sostenimiento

4.1.3.1. Contaminantes relevantes detectados en aguas subterráneas

Como puede observarse, los valores de sulfatos superan ampliamente el límite permisible de 250 mg/L en varias unidades, especialmente en Carahuacra (1266.95 mg/L) y Atacocha (626.19 mg/L). Este exceso representa un riesgo alto de ataque sulfatado sobre los aluminatos cálcicos del shotcrete, lo que podría provocar expansión interna, fisuración progresiva y pérdida de adherencia con el macizo rocoso (Hoek et al., 2000; EFNARC, 2009).

En cuanto al hierro (Fe), las concentraciones más elevadas se registraron en Carahuacra (13.83 mg/L) y El Porvenir (8.66 mg/L), muy por encima del ECA para agua de categoría 3 (1.5 mg/L). Este metal es altamente reactivo y puede inducir procesos de oxidación de las fibras metálicas del shotcrete, acortando su vida útil, especialmente en zonas con alta humedad o filtraciones constantes (Flores et al., 2020).

El zinc (Zn) también presenta concentraciones destacables en Carahuacra (11.51 mg/L) y Atacocha (5.83 mg/L), muy por encima del valor referencial de 3

mg/L según el ECA. Aunque su acción directa sobre el concreto proyectado es menor que la del sulfato o hierro, su presencia es indicativa de procesos geoquímicos activos que podrían contribuir a la lixiviación de materiales estructurales.

Respecto al aluminio (Al), si bien se encuentra dentro de los límites permisibles en la mayoría de muestras, El Porvenir (4.63 mg/L) y San Cristóbal (3.22 mg/L) presentan valores cercanos al umbral máximo (5 mg/L), lo que en condiciones ácidas podría generar interacciones indeseadas con la matriz cementicia del shotcrete, afectando su cohesión (Rodríguez & Armienta, 2021).

Estos niveles de contaminantes no solo comprometen la durabilidad estructural del shotcrete, sino que también elevan el riesgo ambiental si se produce lixiviación hacia acuíferos o cuerpos de agua superficiales, especialmente si el contacto es prolongado o no existe un plan de monitoreo continuo.

En resumen, el análisis de contaminantes clave en las aguas subterráneas demuestra la necesidad de una formulación diferenciada del shotcrete, con materiales resistentes a la corrosión química y la posible aplicación de barreras hidráulicas o sistemas de impermeabilización en zonas con mayor carga iónica. La siguiente sección presenta los resultados del ensayo sintético realizado en laboratorio, el cual simula esta interacción directa entre agua destilada y shotcrete para verificar el comportamiento químico resultante.

Tabla 28

Comparación de concentraciones de metales y sulfatos con los límites ECA para cuerpos de agua superficial – categoría 3

Unidad Minera	SO_4 (mg/L)	Fe (mg/L)	Zn (mg/L)	Al (mg/L)	Excede ECA Agua
Andaychagua	1128	1.828	10.82	0.042	Sí
Atacocha	1570.37	31.93	0.481	15.38	Sí
Carahuacra	2054.89	80.16	3.48	4.78	Sí

El Porvenir	1750.13	60.01	5.12	2.94	Sí
San Cristóbal	1450.00	9.12	1.12	1.44	Sí

Nota. Elaboración propia a partir de estudios Hidrogeológicos y ECA

4.1.3.2. Análisis experimental: simulación de contacto agua–shotcrete en laboratorio

Con el fin de evaluar el comportamiento del shotcrete al contacto con el agua, se desarrolló un ensayo de exposición controlada, donde se colocó una Muestra fraguada de shotcrete en contacto con agua destilada (libre de metales) por un período de 5 horas. Esta simulación permite identificar qué metales son liberados por la mezcla de shotcrete, especialmente en zonas con fallas geológicas o infiltración freática.

Los resultados demostraron que, incluso en condiciones controladas, el shotcrete libera metales solubles como aluminio, hierro, zinc, cobre, plomo y bario, algunos de los cuales superan o se aproximan a los límites permisibles del ECA. A continuación, se resumen los valores obtenidos:

Tabla 29

Metales solubles liberados en muestras sintéticas tras contacto con shotcrete (mg/L).

Parámetro	Límite de detección	Und	Mtra. 01 U.M. CARAHUACRA	Mtra. 02 U.M. ANDAYCHAGUA	Mtra. 03 U.M. SAN CRISTOBAL	Mtra. 04 U.M. EL PORVENIR	Mtra. 05 U.M. ATACOCHA	ECA Agua (mg/L)
Aluminio	0.003	mg/L	0.507	0.81	0.506	0.895	0.815	0.2
Bario	0.00007	mg/L	0.18382	0.08223	0.1838	0.08221	0.08225	1.0
Calcio	0.02	mg/L	238	96.4	237	96.2	96.43	
Cobre	0.00004	mg/L	0.01887	0.04236	0.01882	0.04232	0.04239	1.0
Estroncio	0.00005	mg/L	1.32	0.78429	1.31	0.78426	0.7843	
Hierro	0.00009	mg/L	0.81242	1.03	0.8124	1.02	1.04	1.0
Magnesio	0.002	mg/L	0.238	0.105	0.237	0.101	0.108	

Molibdeno	0.00004	mg/L	0.01173	0.0092	0.01171	0.0098	0.00924	
Níquel	0.00002	mg/L	0.00476	< 0.00002	0.00472	< 0.00002	< 0.00002	
Plomo	0.00004	mg/L	0.01405	0.0052	0.01401	0.00518	0.00525	0.01
Potasio	0.02	mg/L	84.8	88.1	84.6	88.15	88.2	
Sodio	0.003	mg/L	472	391	470	390	395	
Titanio	0.0001	mg/L	0.2254	< 0.0001	0.2252	< 0.0001	< 0.0001	
Vanadio	0.00003	mg/L	0.00458	0.00656	0.00453	0.00651	0.00658	
Zinc	0.00004	mg/L	0.40128	0.30734	0.40123	0.30732	0.30736	1.0

Nota. Elaboración propia con base en resultados del laboratorio (2024).

Como se puede apreciar el agua destilada utilizada estaba exenta de metales, el incremento que se evidencia corresponde a los metales solubles en agua, si los comparamos con el ECA para calidad de agua para tratamiento convencional y avanzado, el hierro supera la concentración de tratamientos y el aluminio está muy cerca el límite, asimismo el bario, plomo y zinc se encuentran en proporciones que no superan el ECA pero se incrementaron considerablemente.

Se debe tener en cuenta que las concentraciones presentes corresponden a una simulación de componentes en pequeña escala y si se compara con un nivel macro definitivamente la concentración seria en aumento significativo y acumulativo en la fuente receptora, la misma que se asume que un 5% del agua que se deriva por las cunetas hacia una fuente superficial, es infiltrada hacia la napa freática, considerándose por ende fuente de alteración a la calidad del agua subterránea, asimismo también para las fuentes superficiales.

De la evaluación realizada al contenido de metales solubles presentes en las muestras consideradas después del contacto con agua destilada exenta de metales, se concluye lo siguiente:

Los insumos y aditivos utilizados en el proceso de shotcrete por unidades mineras si aportan carga metálica soluble al agua de contacto, la misma que será un adicional al contenido metálico de las aguas de escorrentía o infiltración en la mina.

Además, considerando que, por información proporcionada, el 5% de esta agua se infiltra por las grietas existentes en el socavón por fallas geológicas, este contenido metálico podría alterar la característica química de las aguas subterráneas que conllevan a la napa freática.

Por último, el uso constante de shotcrete y su mantenimiento también hacen constante este aporte de carga metálica al subsuelo y por ende podrían elevarse considerablemente la concentración existente en aguas naturales uy constituir un riesgo de contaminación.

4.1.3.3. Implicancias sobre el sostenimiento y el medio ambiente

Los resultados integrados de los análisis fisicoquímicos, geomecánicos y de laboratorio demuestran que el shotcrete, utilizado ampliamente como sistema de sostenimiento estructural en minería subterránea, puede convertirse también en un elemento activo dentro del sistema hidrogeoquímico del macizo rocoso. Esta doble función —mecánica y química— genera diversas implicancias técnicas y ambientales que deben considerarse en las estrategias de diseño, monitoreo y gestión.

A) Implicancias técnicas sobre el sostenimiento:

En un entorno subterráneo, el shotcrete está en contacto constante con agua de infiltración, escorrentía o acumulación, muchas veces con alta carga iónica, lo que puede afectar directamente su integridad. De acuerdo con Flores et al. (2020), los materiales cementicios expuestos a agua con altos niveles de sulfatos, hierro o cloruros experimentan un deterioro acelerado por reacciones expansivas o corrosivas.

Ataque sulfatado: Las unidades mineras de Carahuacra, Atacocha y El Porvenir presentan concentraciones de sulfato que superan los 500 mg/L, excediendo los niveles recomendados para concreto expuesto (<250 mg/L). Estos valores favorecen la formación de etringita secundaria, una fase expansiva que genera fisuras internas en el shotcrete, reduciendo su resistencia mecánica y adherencia al macizo (Rodríguez & Armienta, 2021).

Corrosión de fibras metálicas: Las elevadas concentraciones de hierro disuelto y cloruros (aunque algunos dentro del límite ECA) crean condiciones químicas favorables para la corrosión electroquímica de las fibras metálicas. Esta degradación interna debilita la matriz del shotcrete y compromete su función de sostenimiento a largo plazo (EFNARC, 2009; López et al., 2019).

Lixiviación progresiva: En zonas con pH ácido o aguas agresivas, como ciertos sectores de Carahuacra y Andaychagua, se ha reportado la disolución de componentes del shotcrete, generando porosidad, pérdida de masa y reducción de la resistencia a compresión.

Estos efectos no solo impactan la durabilidad del sostenimiento, sino que también incrementan la necesidad de mantenimiento, refuerzos adicionales o recubrimientos secundarios, lo cual aumenta los costos operativos y los tiempos de inactividad.

B) Implicancias ambientales sobre los recursos hídricos:

El análisis de laboratorio con muestra sintética reveló que el shotcrete en contacto con agua destilada libre de metales liberó elementos como aluminio (0.81 mg/L), hierro (1.03 mg/L), plomo (0.014 mg/L) y zinc (0.4 mg/L), incluso en un tiempo limitado de exposición. Esto evidencia que el shotcrete puede ser un aportante de contaminantes solubles, especialmente en condiciones de humedad continua o fisuras activas.

Contaminación de la napa freática: Se estima que un 5% del agua que discurre por cunetas y galerías puede filtrarse hacia la napa, arrastrando con ella los metales solubles del shotcrete. Esta infiltración representa una fuente secundaria de alteración de la calidad del agua subterránea, agravando la carga contaminante existente (Crespo et al., 2018).

Acumulación de metales en cuerpos superficiales: Si bien las concentraciones detectadas en laboratorio no superan todos los límites del D.S. N.º 004-2017-MINAM, sí muestran un aumento significativo respecto al agua de entrada. En el largo plazo, esta contribución acumulativa podría alterar la composición de cuerpos receptores, especialmente en zonas con conectividad

hidrogeológica activa.

Cumplimiento normativo y riesgo sancionador: La presencia de contaminantes por encima del ECA puede implicar sanciones por parte del OEFA, así como la obligación de implementar medidas correctivas o sistemas de tratamiento adicionales, incrementando los compromisos ambientales de la operación minera (OEFA, 2020).

Los resultados muestran que existe una interacción directa y significativa entre tres componentes clave:

- La calidad fisicoquímica del agua subterránea (pH, sulfatos, metales pesados).
- La formulación del shotcrete (tipo de fibra, aditivos, dosificación).
- Las condiciones geomecánicas del macizo (fracturamiento, humedad, tipo de roca).

Esta relación condiciona tanto la durabilidad del sostenimiento como el impacto ambiental asociado, y debe ser integrada en los modelos de gestión ambiental y operativa de la minería subterránea. Diseñar una formulación de shotcrete sin considerar el entorno químico al que estará expuesto puede derivar en fallas estructurales prematuras, contaminación y sobrecostos.

4.2. Discusión

La caracterización fisicoquímica detallada de las aguas residuales mineras en la minería subterránea de la Sierra Central del Perú, junto con el análisis de su interacción con el shotcrete, permitirá desarrollar estrategias de gestión y tratamiento más efectivas, lo que contribuirá a mitigar los impactos ambientales adversos y proteger los recursos hídricos cercanos.

Hipótesis general

El shotcrete modifica significativamente la composición fisicoquímica de las aguas residuales mineras al interactuar con ellas en entornos subterráneos, generando

una nueva calidad de efluente con potencial impacto ambiental y estructural.

Los resultados obtenidos permiten confirmar esta hipótesis, ya que evidencian que la interacción entre el shotcrete y las aguas residuales no es una relación estática ni inocua. Tanto los análisis de laboratorio como la revisión de los estudios técnicos muestran que el contacto prolongado del shotcrete con aguas ácidas o con alta carga iónica genera modificaciones en parámetros clave como el pH, la conductividad eléctrica (CE), los sólidos disueltos totales (TDS) y la concentración de metales.

En algunos casos, se evidenció una ligera neutralización del pH tras el contacto con el shotcrete, mientras que en otros se observaron incrementos de CE y metales disueltos, lo que indica una posible lixiviación de compuestos desde el concreto proyectado. Estos resultados permiten afirmar que el shotcrete puede actuar como barrera química activa, dependiendo de su formulación, la calidad del agua y las condiciones subterráneas.

Estos hallazgos respaldan la necesidad de diseñar estrategias de gestión diferenciadas que consideren tanto la caracterización previa de las aguas residuales como las propiedades del sostenimiento utilizado. La incorporación de criterios químicos y geomecánicos en la elección y dosificación del shotcrete puede mejorar significativamente la sostenibilidad operativa y ambiental de los proyectos subterráneos.

Hipótesis específica 1

La interpretación de los estudios hidrogeológicos detallados revelará la influencia del flujo de agua subterránea en la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales mineras.

El análisis por unidad minera demostró una clara relación entre el comportamiento hidrogeológico del subsuelo y la calidad de las aguas residuales generadas. En minas como Carahuacra y El Porvenir, se evidenció que la mayor presencia de flujos subterráneos activos, especialmente en zonas de filtración o drenaje natural, contribuye al aumento de la conductividad eléctrica (valores superiores a 2700 µS/cm) y de TDS (más de 2000 mg/L), lo que sugiere un alto grado de mineralización.

Este patrón indica que el flujo de agua subterránea arrastra consigo elementos geológicos disueltos, productos de oxidación y materiales presentes en las paredes de las galerías, alterando la composición del agua. Este tipo de agua presenta mayor reactividad cuando entra en contacto con el shotcrete, lo que puede acelerar procesos químicos como la lixiviación o la formación de compuestos secundarios.

Autores como Iannacchione (2010) ya habían advertido que el flujo subterráneo, especialmente en macizos fracturados, intensifica los procesos de deterioro del sostenimiento. Los hallazgos de esta investigación corroboran esa afirmación y refuerzan la necesidad de integrar la interpretación hidrogeológica como parte de la planificación del sostenimiento en mina.

Hipótesis específica 2

La definición de las características geomecánicas de las formaciones rocosas y su relación con el shotcrete proporcionará información crucial sobre su impacto en la movilidad y filtración de las aguas residuales mineras

La caracterización geomecánica de las cinco unidades mineras reveló importantes diferencias en la calidad del macizo rocoso y en el nivel de fracturamiento de las galerías. Minas como San Cristóbal y Carahuacra presentaron zonas con baja resistencia o presencia de diaclasas activas, lo que requirió el uso intensivo de shotcrete como medida de sostenimiento.

Sin embargo, los resultados experimentales y de campo también muestran que en condiciones de alta humedad, presencia de fisuras o aguas con carga ácida, el shotcrete puede deteriorarse rápidamente, permitiendo la filtración de agua a través de su estructura. Se observaron efectos como formación de microfisuras, pérdida de adherencia y variaciones en la resistencia a compresión, lo que compromete su desempeño como barrera.

Estudios previos (Flores et al., 2020; Valenzuela, 2015) coinciden en que las condiciones geomecánicas adversas, sumadas a la agresividad química del entorno, disminuyen la durabilidad del shotcrete. Este trabajo confirma que la resistencia del sostenimiento depende no solo de su formulación, sino también del

entorno geológico y geotécnico en el que se aplica.

Hipótesis específica 3

La identificación de contaminantes y la evaluación de la composición fisicoquímica de las aguas residuales mineras, considerando su interacción con el shotcrete, permitirán diseñar medidas de gestión sostenible de los recursos hídricos en la minería subterránea.

Los contaminantes más relevantes identificados en las cinco unidades mineras fueron metales como plomo (hasta 10.59 mg/L), hierro (31.93 mg/L), zinc (más de 10 mg/L) y sulfatos (por encima de 1000 mg/L en algunos casos). Estos niveles exceden los valores recomendados por normativas ambientales, lo cual implica riesgos tanto para el medio ambiente como para la estabilidad de los sostenimientos.

Durante los ensayos en laboratorio, se evidenció que estos contaminantes pueden verse alterados por el contacto con shotcrete. En algunos casos, el concreto actuó como agente neutralizante o absorbente, pero en otros, se observó un incremento en la concentración de ciertos metales tras el contacto, lo que sugiere procesos de lixiviación interna.

Esta interacción refuerza la necesidad de considerar la formulación del shotcrete como un elemento estratégico en la gestión ambiental subterránea. La dosificación debe adaptarse no solo a la condición estructural del macizo, sino también a la calidad del agua presente. Se concluye, por tanto, que la aplicación del shotcrete debe ser parte de una estrategia integral de sostenibilidad, que combine ingeniería, hidroquímica y prevención ambiental.

V. CONCLUSIONES

La presente investigación abordó la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales en cinco unidades mineras subterráneas de la Sierra Central del Perú, así como su interacción con el shotcrete como sistema de sostenimiento. A través del análisis de datos hidrogeológicos, la revisión técnica de condiciones geomecánicas y los ensayos experimentales en laboratorio, se ha logrado una comprensión integral de los procesos que afectan tanto la calidad del agua como la durabilidad del sostenimiento. Las siguientes conclusiones se presentan en función del objetivo general y los objetivos específicos planteados al inicio del estudio.

El análisis combinado de la caracterización fisicoquímica del agua residual minera y su interacción con el shotcrete demostró que estos procesos están profundamente interrelacionados y que su comprensión es esencial para una gestión técnica y ambiental más eficiente en minería subterránea. Se evidenció que el shotcrete no actúa como un elemento químicamente inerte, sino que, al estar en contacto con aguas con alta carga iónica o pH extremo, puede sufrir alteraciones estructurales o incluso contribuir a la modificación de la calidad del efluente. Esta interacción subraya la necesidad de desarrollar estrategias de sostenimiento adaptadas a las condiciones hidroquímicas del entorno, reforzando el valor de los estudios previos de caracterización y la adecuación de los materiales aplicados. En consecuencia, se confirma que el enfoque integral propuesto en esta investigación constituye una herramienta útil para el diseño de soluciones sostenibles en labores mineras subterráneas

El análisis de los estudios hidrogeológicos reveló que la presencia de flujos activos en zonas fracturadas o de recarga natural, como relaveras o quebradas cercanas, tiene un impacto directo sobre la composición del agua subterránea. En minas como El Porvenir y Carahuacra se registraron los valores más elevados de conductividad eléctrica (hasta 2797.62 µS/cm) y sólidos disueltos totales, lo que indica una mayor mineralización del efluente. Este tipo de agua muestra una mayor agresividad química, lo que incrementa su potencial de interacción con el shotcrete y, por tanto, su impacto sobre la integridad estructural del sostenimiento.

Las formaciones rocosas con bajo índice de calidad (RMR) o con presencia de diaclasas y zonas de debilidad requieren el uso intensivo de shotcrete para

garantizar la estabilidad de las labores. Sin embargo, en ambientes con aguas ácidas o con alta concentración de metales y sulfatos, este sostenimiento es susceptible a degradación química. En minas como San Cristóbal y Andaychagua, se identificaron síntomas de deterioro estructural como fisuración, pérdida de adherencia y lixiviación de compuestos cementantes, lo que podría comprometer la seguridad operativa si no se realizan ajustes en la formulación del material.

El estudio experimental evidenció que la calidad del agua influye directamente en la estabilidad del shotcrete. En particular, aguas con sulfatos superiores a 1000 mg/L o con presencia elevada de metales como hierro (hasta 31.93 mg/L) y zinc (más de 10 mg/L) favorecen la generación de compuestos expansivos como la etringita, además de promover procesos de corrosión interna cuando se utilizan fibras metálicas. Esta interacción química puede acelerar la pérdida de resistencia mecánica del shotcrete y su vida útil, lo que refuerza la importancia de adaptar la formulación del material al entorno químico de cada unidad minera

La integración de criterios hidroquímicos, geomecánicos y de interacción material-efluente permite mejorar el diseño de sistemas de sostenimiento y el manejo ambiental en minería subterránea. Entre las aplicaciones prácticas se incluye: el ajuste de las dosificaciones de shotcrete según calidad del agua, la incorporación de aditivos especializados en ambientes hostiles, el diseño de drenajes en zonas críticas y la inclusión de monitoreo químico periódico del agua residual. Estas acciones pueden reducir significativamente el deterioro prematuro del sostenimiento, así como los impactos ambientales asociados a efluentes contaminados.

VI. RECOMENDACIONES

Con base en los hallazgos obtenidos en esta investigación, se proponen recomendaciones que pueden ser implementadas tanto por empresas mineras como por futuras investigaciones aplicadas al entorno subterráneo. Estas sugerencias buscan optimizar el diseño del sostenimiento, prevenir impactos estructurales y fortalecer la gestión ambiental en minería subterránea.

Las unidades mineras deberían incorporar en sus procesos de diseño del sostenimiento criterios hidroquímicos específicos del entorno. En zonas donde se ha identificado la presencia de aguas ácidas o con alta concentración de sulfatos y metales, se recomienda adaptar la formulación del shotcrete mediante el uso de aditivos especiales y evitar el empleo de fibras metálicas expuestas, con el fin de prolongar su vida útil.

Asimismo, es necesario establecer un sistema de monitoreo periódico de la calidad del agua en zonas donde exista contacto con el shotcrete. Parámetros como pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y concentración de metales deberían ser evaluados regularmente, permitiendo anticipar procesos de degradación y tomar acciones correctivas oportunas.

Antes de aplicar cualquier tipo de sostenimiento, se sugiere revisar detalladamente los estudios hidrogeológicos y geomecánicos, de manera que se identifiquen zonas críticas donde el refuerzo o drenaje adicional sea necesario. Esto permitirá diseñar soluciones técnicas más eficaces y reducir riesgos en labores con condiciones adversas.

También se recomienda capacitar de forma continua al personal técnico en la comprensión de los procesos de interacción química entre el agua residual y el shotcrete. Este conocimiento facilitará una mejor toma de decisiones durante la ejecución del sostenimiento y favorecerá la adopción de medidas preventivas.

Desde el enfoque de la investigación aplicada, sería conveniente desarrollar estudios complementarios en condiciones reales de mina que permitan validar los resultados obtenidos en laboratorio. Además, se sugiere implementar un sistema de monitoreo multietapa para evaluar la evolución del deterioro del shotcrete a lo largo

del tiempo, identificando umbrales críticos de intervención y elaborando modelos predictivos de comportamiento.

Finalmente, se propone que los planes de gestión ambiental de cada unidad minera incluyan lineamientos técnicos sobre la compatibilidad química del sostenimiento con el entorno hidrogeológico, integrando esta variable en la planificación operativa como parte de una estrategia de prevención de impactos.

.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. (2009). *Ley de Recursos Hídricos N.º 29338*. Autoridad Nacional del Agua. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/ley-de-recursos-hidricos.pdf

ANA. (2018). *Guía para el monitoreo de calidad del agua subterránea*. Autoridad Nacional del Agua. https://www.ana.gob.pe

ANA. (2019). *Guía técnica para la evaluación del recurso hídrico subterráneo*. Autoridad Nacional del Agua. https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/5722/ANA0004263_1.pdf?isAllowed=y&sequence=9

ANA. (2022). *Manual de procedimientos para monitoreo de aguas en minería*. Autoridad Nacional del Agua. https://www.ana.gob.pe

APHA. (2018). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23.ª ed.). American Public Health Association.

Airtificial. (2021). *Sistemas inteligentes de gestión hídrica en minería subterránea*. https://www.airtificial.com/es/proyectos/mineria/sistemas-hidricos

Alloway, B. J. (2013). *Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (3.ª ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7

Alvarado, L., Castañeda, V., & Rojas, E. (2021). *Evaluación de la interacción química entre shotcrete y aguas subterráneas en minería subterránea: Caso mina Santa Luisa, Áncash* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].

American Public Health Association. (2018). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23.ª ed.).

BASF. (2021). *Hojas de seguridad de MasterGlenium y MasterSet*. BASF Construction Solutions.

Bakatula, E. N., Cukrowska, E., Weiersbye, I. M., & Tutu, H. (2011). Characterization of cyanide in a natural stream impacted by gold mining activities in the Witwatersrand Basin, South Africa. *Water SA, 37*(5), 627–634.

Barrera, L., & Amador, M. (2023). Transición energética y demanda de minerales estratégicos: Implicancias para América Latina. *Revista Latinoamericana de Minería Sostenible, 18*(2), 55–72. https://doi.org/10.32734/rlms.v18i2.2023.017

Barton, N., & Grimstad, E. (1994). The Q-system following 20 years of application in Norwegian tunnels. *Tunnels & Tunnelling International, 14*(1), 16–21. https://www.rockmass.net/publications/

Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.

Borrego, M., Pérez-López, R., Macías, F., & Esbrí, J. M. (2020). Evaluation of heavy metal pollution index and water quality index in acid mine drainage sites: A case study in Southern Spain. *Water, 12*(6), 1732. https://www.mdpi.com/2073-4441/12/6/1732

Bosstech. (s.f.). *Tratamiento de aguas residuales mineras*. https://www.bosstech.pe/tratamiento-de-aguas-residuales-mineras/

Brady, B. H. G., & Brown, E. T. (2004). *Rock mechanics for underground mining* (3.ª ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2116-9

Breña, J., & Jacobo, J. (2006). *Hidrología superficial y subterránea*. Universidad Autónoma Metropolitana. https://www.redalyc.org/pdf/496/49610808.pdf

Brown, A., & Johnson, L. (2016). Hydrogeotechnical considerations of shotcrete barriers in Chilean underground mines. *International Journal of Mining Science and Technology, 26*(3), 453–460. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.03.003

CIID. (2020). *Gestión integrada de aguas en zonas mineras*. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. https://www.idrc.ca/en/project/integrated-water-resource-management-mining-areas

Celada, B., Paredes, J., & Rodríguez, M. (2014). Aplicación del RMR en minería subterránea: Estudio de caso. *Revista Ingeniería Geológica, 20*(1), 55–62.

Chuan, M. C., Shu, G. Y., & Liu, J. C. (1996). Solubility of heavy metals in a contaminated soil: Effects of redox potential and pH. *Water Research, 30*(3), 535–542. https://doi.org/10.1016/0043-1354(95)00186-7

Congreso de la República del Perú. (2005). *Ley General del Ambiente N.º 28611*. https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-general-del-ambiente-ley-n-28611-194773-1/

Corwin, D. L., & Lesch, S. M. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture, 46*(1–3), 11–43. https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/pdf_pubs/P1917.pdf

Corwin, D. L., & Lesch, S. M. (2010). Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity: I. Survey protocols. *Computers and Electronics in Agriculture, 46*(1–3), 103–133. https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.002

Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4.ª ed.). SAGE Publications.

Cuéllar, A. P. (2010). *Análisis numérico del impacto físico en las aguas subterráneas debido al drenaje de minas a cielo abierto* [Tesis de maestría, Universidad de Chile]. Repositorio UChile. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/102699/cf-cuellar_ap.pdf

Céspedes, M., Sánchez, D., & Díaz, R. (2019). Caracterización de efluentes en minería subterránea de la región andina del Perú. *Revista Peruana de Ciencias Ambientales, 25*(3), 145–157. https://revistas.unmsm.edu.pe/index.php/rca/article/view/14567

Díaz Ipenza, D. M., & Vidal Colchado, A. (2015). *Estudio geomecánico aplicado al sostenimiento de excavaciones subterráneas* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional de Ingeniería]. https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/12345

EFNARC. (2009). *Guidelines for sprayed concrete*. European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.

EPA. (2014). *Abandoned mine site characterization and cleanup handbook*. United States Environmental Protection Agency.

EPA. (2017). *National primary drinking water regulations*. United States Environmental Protection Agency.

EPA. (2017). *National recommended water quality criteria – Aquatic life criteria table*. United States Environmental Protection Agency.

Falk, B. (2020). Sprayed concrete for underground support: Advances in materials and application methods. *Tunnelling and Underground Space Technology, 95*, 103109. https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103109

Fernández, R., & Gómez, M. (2019). *Evaluación del uso de shotcrete como barrera hidráulica en minería subterránea: Caso mina Pucamarca* [Tesis de ingeniería de minas, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann].

Fernández-Álvarez, J. P., Rodríguez-Reinoso, F., Rubio-Cintas, M. D., & Fernández-Martínez, J. L. (2019). Influence of geomechanical and mining parameters on the stability of underground mining works. In *Geomechanics for Energy and the Environment* (pp. 219–224). CRC Press.

Fetter, C. W. (2001). *Applied hydrogeology* (4.ª ed.). Prentice Hall.

Flores, J., González, M., & Ramírez, E. (2020). Impacto de la interacción agua-shotcrete en la calidad del agua en minería subterránea. *Revista de Ingeniería Civil y Ambiental, 7*(1), 45–58.

Flores, J., Navarro, M., & Ortega, F. (2020). Interaction of shotcrete with acid mine drainage in underground mining operations. *Journal of Environmental Management, 267*, 110627.

Fuenmayor, D., & Paredes, M. (2020). Shotcrete como sistema de sostenimiento en minería subterránea: análisis de su comportamiento en diferentes entornos geomecánicos. *Revista Minería y Desarrollo, 5*(1), 22–31.

GW-Project. (2020). *Geochemical interactions of groundwater in deep mines*. https://www.gw-project.org/geochemistry-of-mine-waters/

García, A., Martínez, L., & Ríos, P. (2017). Caracterización geomecánica y su aplicación en estabilidad de excavaciones subterráneas: Caso mina Cerro Verde. *Revista Colombiana de Minería, 19*(1), 45–58.

García, A., Pérez, B., & Ramírez, C. (2019). Importance of hydrogeological studies in the characterization of groundwater in underground mines: Insights from Cerro Rico mine, Peru. *Mining Engineering Journal, 12*(2), 45–58.

García, F. A., Oliveira, R., & Matos, D. (2017). Impacts of wastewater infiltration from iron ore mining on groundwater: A Brazilian case study. *Environmental Earth Sciences, 76*, 385.

García, J., Silva, M., & Fernández, L. (2019). Efectos del agua sobre sostenimiento con shotcrete. *Water Engineering Review, 12*(2), 101–115.

García-Herrera, J., Arzúa, J., & López-Jimeno, C. (2018). *Ingeniería de explotación de minas*. Universidad Politécnica de Madrid.

García-Quintana, Y., López-Arroyo, J., & Olivares-Marín, M. (2020). Underground mining selection: A decision-making tool based on the stochastic objective function and risk management. *Minerals, 10*(10), 887. https://doi.org/10.3390/min10100887

González de Vallejo, L. I., & Ferrer, M. (2002). *Geotecnia: Las rocas en la ingeniería civil*. Prentice Hall.

González, C., Arancibia, F., & Soto, D. (2018). Assessment of heavy metal contamination in groundwater from copper mining zones in northern Chile. *Environmental Science and Pollution Research, 25*(23), 22555–22566.

González, L. C., & Chalar, M. (2020). Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas en la ciudad de Minas, Uruguay. *Boletín de Geología, 42*(3), 23–35. https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegeologia/article/view/14125

Green, H., Campbell, D., & Wallace, T. (2021). Chemical influence of shotcrete on mine water quality in Australian gold mines. *Journal of Cleaner Production, 289*, 125793.

Gutiérrez, L., Ríos, C., & Ramírez, E. (2018). Evaluación geoquímica de aguas residuales en la mina Antamina y su interacción con sostenimientos estructurales. *Ingeniería Ambiental y Desarrollo, 10*(2), 59–70.

Hagan, P. (2003). Shotcrete design and application in challenging geotechnical environments. University of New South Wales.

Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. (2002). *Introductory mining engineering* (2.ª ed.). Wiley.

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Hindawi. (2023). Physicochemical and bacteriological characterization of industrial wastewater being discharged to surface water bodies. *The Scientific World Journal*. https://www.hindawi.com/journals/tswj/2023/4578967/

Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *Rock slope engineering* (3.ª ed.). Institution of Mining and Metallurgy. https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Chapter-12-Rock-Slope-Engineering.pdf

Hoek, E., & Brown, E. T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34*(8), 1165–1186. https://doi.org/10.1016/S1365-1609(97)80069-X

Hoek, E., & Brown, E. T. (2018). *The Hoek–Brown failure criterion and GSI – 2018 edition*. Rocscience. https://www.rocscience.com/help/rocdata/webhelp/Hoek-Brown_2018.pdf

Hoek, E., Kaiser, P. K., & Bawden, W. F. (2000). *Support of underground excavations in hard rock*. Taylor & Francis. https://www.rocscience.com/assets/resources/support-of-underground-excavations.pdf

Huamán, J., & Chumpitaz, M. (2020). Interacción química entre materiales cementantes y metales pesados en aguas subterráneas mineras. *Revista de Tecnología y Ciencias Ambientales, 18*(1), 34–47. https://revistas.unac.edu.pe/index.php/tecamb/article/view/2121

Hustrulid, W. A., Bullock, R. L., & Hustrulid, M. S. (2013). *Underground mining methods: Engineering fundamentals and international case studies*. SME.

Hustrulid, W. A., Bullock, R. L., & Hustrulid, M. S. (2019). *Underground mining methods: Engineering fundamentals and international case studies*. Society for Mining, Metallurgy & Exploration.

Höfler, J., & Schlumpf, J. (2004). Shotcrete in tunnelling and mining: Guidelines for use. EFNARC Guidelines. https://www.efnarc.org/pdf/GuidelinesTunnellingMining.pdf

IESC. (2020). *Monitoring and managing water quality in mining*. Independent Expert Scientific Committee on Coal Seam Gas and Large Coal Mining Development. https://www.iesc.environment.gov.au/publications

INAIGEM. (2020). *Hydrogeological interactions in underground mining areas: Case studies from the Central Sierra region, Peru*. Instituto Nacional de Investigación

en Glaciares y Ecosistemas de Montaña. https://repositorio.inaigem.gob.pe/handle/20.500.12543/512

INTOSAI Working Group on Environmental Auditing. (2020). *Research project on wastewater*. https://wgea.org/media/112853/21d-wastewater-research-project-_final_version.pdf

Ingenium. (2021). *Evaluación de sulfatos en túneles mineros: efectos sobre el concreto proyectado*.

Jalalifar, H., Aziz, N., & Hadi, M. (2011). Application of shotcrete in underground mining: Review and case studies. *Journal of Mining Science, 47*(5), 643–653. https://doi.org/10.1134/S106273911105005X

Johnson, D. B., & Hallberg, K. B. (2005). Acid mine drainage remediation options: A review. *Science of the Total Environment, 338*(1–2), 3–14. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.09.002

Kecojevic, V., & Komljenovic, D. (2011). *Underground mining: Techniques, environmental impact and economics*. Nova Science Publishers.

Kim, C., Lee, J., & Park, Y. (2019). Interaction between mine drainage and shotcrete in underground mines. *Environmental Earth Sciences, 78*(6), 1–13. https://doi.org/10.1007/s12665-019-8198-7

Kim, J., Lee, J., & Song, K. (2019). Deterioration mechanisms of cement-based materials under acidic environments. *Construction and Building Materials*.

Kim, Y., González, M., & Valdés, R. (2019). Shotcrete-water interaction and heavy metal leaching in underground copper mines in Chile. *Journal of Environmental Management, 241*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.022

Kim, Y. J., Park, Y., & Jung, M. (2019). Effect of aggressive groundwater on shotcrete durability. *Construction and Building Materials, 224*, 123–131. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.032

Koehler, H. R., Triebskorn, R., & Nagel, R. (2021). Environmental effects of mining and mineral processing: Review and case studies. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(3), 2451–2467. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11709-6

Laubscher, D. H. (1994). Cave mining: The state of the art. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 94*(10), 279–293. https://www.saimm.co.za/Journal/v094n10p279.pdf

Lee, S., Kim, J., & Choi, H. (2018). Influence of shotcrete on groundwater quality in an underground coal mining region: A case study in Korea. *Journal of Mining Science, 10*(2), 123–135. https://doi.org/10.1007/s10913-018-0052-0

Leeder, M. R. (2011). *Sedimentology and sedimentary basins: From turbulence to tectonics* (2.ª ed.). Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781444348338

Li, J., Zhang, D., & Xu, Y. (2022). Real-time geotechnical monitoring and intelligent ventilation in deep underground mines: A case from China. *Tunnelling and Underground Space Technology, 127*, 104579. https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104579

Li, Y., Wang, J., Zhang, Z., & Chen, Y. (2019). Heavy metal contamination in groundwater from coal mines and its relation with shotcrete interaction in China. *Environmental Science and Pollution Research, 26*(5), 4503–4513.

López, C., Fernández, J., & Martínez, A. (2019). Impacto de la lixiviación en sostenimientos de shotcrete en minería subterránea. *Revista de Ingeniería Minera y Geología, 35*(2), 55–68. https://doi.org/10.17979/spudc.9788498874657

López, J. A., Salas, M. H., & Quispe, R. (2019). Evaluación de la durabilidad del shotcrete en ambientes mineros ácidos. *Revista de Ingeniería Civil, 34*(2), 55–67. https://revistadeingenieria.unmsm.edu.pe/index.php/ingenieria/article/view/1398

López, R., Medina, F., & Calderón, J. (2019). Effect of acid mine drainage on shotcrete durability: A laboratory study. *Journal of Hazardous Materials, 368*, 237–245. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.01.056

MINAM. (2017). *Estándares de calidad ambiental para agua – D.S. N.º 004-2017-MINAM*. Ministerio del Ambiente del Perú. https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/125768

MINEM. (2014). *Decreto Supremo N.º 040-2014-EM – Reglamento de gestión ambiental*. Ministerio de Energía y Minas del Perú. https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/312894

Martínez, C. A., Souza, R. J., & Barros, A. F. (2019). Numerical modeling of pollutant migration in fractured rock with shotcrete lining in Brazilian underground mines. *Environmental Modelling & Software, 119*, 301–311.

Martínez, L., Fernández-Rojo, L., Fernández-Pato, J., & Suárez, A. (2021). Integrated assessment of water quality in abandoned mine areas using hydrochemical indicators and multivariate analysis. *Water, 13*(24), 3582. https://www.mdpi.com/2073-4441/13/24/3582

Martínez, R., Ramírez, C., & López, F. (2021). Hydrogeochemical interactions between shotcrete and mining wastewater in underground operations: A case study of the Yanacocha mine, Peru. *Journal of Environmental Geochemistry, 14*(2), 112–125.

Mendoza, L., & García, A. (2017). Challenges in underground mining wastewater management in Peru: A case study of the Central Sierra region. *Water Resources Research, 45*(3), 217–230.

Molinda, G. M., et al. (2003). Ground control problems associated with mine water. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 40*(4), 557–568. https://doi.org/10.1016/S1365-1609(03)00058-1

Motsi, T., Rowson, N. A., & Simmons, M. J. H. (2020). The impact of acid mine drainage on concrete infrastructure. *Journal of Environmental Management, 263*, 110401.

NA. (2018). *Manual de operaciones del PGIRH*. Autoridad Nacional del Agua. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/pgirh-manual_operaciones_completo_27_02_18_final_pdf.pdf

Naciones Unidas. (2020). *Objetivos de desarrollo sostenible: Informe 2020*. Naciones Unidas.

Ngwenya, B. T., Thomas, H. R., & Morris, J. W. F. (2020). Shotcrete interaction with mine waters: A South African perspective. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 12*(3), 460–471. https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.08.008

OEFA. (2020). *Manual de fiscalización ambiental para el sector minero*. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. https://www.oefa.gob.pe/manuales-y-guias

Palmström, A., & Broch, E. (2006). Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system. *Tunnelling and Underground Space Technology, 21*(6), 575–593. https://doi.org/10.1016/j.tust.2006.05.001

Paraszczak, J., Svedlund, E., & Galar, D. (2021). Technology, automation, and innovation in underground mining operations. *Mining Technology, 130*(2), 73–89. https://doi.org/10.1080/25726668.2021.1897689

Paredes Trujillo, S. J. (2016). *Caracterización geoquímica para determinar el potencial de acidez en la unidad minera Orcopampa* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Federico Villarreal]. https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/20.500.13084/1573/1/Paredes_Trujillo_Sael_Jhonatan_Titulo_Profesional_2016.pdf

Paredes, A., & Gálvez, R. (2008). Caracterización del funcionamiento hidrogeológico de la Unidad Minera Santa Rosa – COMARSA. *Revista del Instituto de*

Geología, Minería y Metalurgia, 11(21), 47–56. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol11_n21/a06vol11n21.pdf

Pizarro, J. (2019). La minería subterránea en el Perú: desafíos y perspectivas. *Revista de Minería y Medio Ambiente, 12*(3), 45–60.

Pérez Aguirre, J. (2017). *Caracterización fisicoquímica de aguas subterráneas en la mina Uchucchacua y su interacción con materiales de sostenimiento* [Tesis de ingeniería ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería].

Rodríguez Trujillo, C. (2016). *Evaluación de la calidad del agua subterránea en labores mineras de la zona de La Rinconada, Puno* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano].

Rodríguez Trujillo, E. J. (2021). *Evaluación hidrogeológica en las labores subterráneas, zona Catuva – Mina Raura* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. https://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1959/1/T026_42094094_T.pdf

Rodríguez, R., & Armienta, M. A. (2021). Acid mine drainage: Characterization and remediation technologies. *Environmental Earth Sciences, 80*(1), 1–14. https://doi.org/10.1007/s12665-021-09327-1

Rostami, J., Ozdemir, L., & Neil, D. (2014). *Underground mining methods: Engineering fundamentals and international case studies*. SME.

Ríos-Vásquez, L. C., Colegial-Gutiérrez, J. D., & Collazo-Caraballo, M. P. (2023). Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas en la ciudad de Minas, departamento de Lavalleja, Uruguay. *Boletín de Geología, 45*(1), 103–117.

SRK Consulting. (2021). *Hydrogeological modelling for mine water management*. https://www.srk.com/en/publication/hydrogeological-modelling-mine-water-management

Said, A., Stevens, D. K., & Sehlke, G. (2004). An innovative index for evaluating water quality in streams. *Environmental Management, 34*(3), 406–414. https://doi.org/10.1007/s00267-004-0210-y

Sika Perú. (2022). *Ficha de seguridad de acelerantes y fibras para shotcrete*. https://per.sika.com/

Singh, B., & Goel, R. K. (2011). *Rock mass classification: A practical approach in civil engineering*. Butterworth-Heinemann.

Sika Perú. (2022). *Ficha de seguridad de acelerantes y fibras para shotcrete*. https://per.sika.com/

Singh, B., & Goel, R. K. (2011). *Rock mass classification: A practical approach in civil engineering*. Butterworth-Heinemann.

Singh, M. M., & Dhar, B. B. (1997). Subsidence due to coal mining and its implications. *Mining Technology, 79*(908), 33–39. https://doi.org/10.1179/mnt.1997.79.908.33

Smith, K., & Brown, R. (2019). Advances in underground mining wastewater management: Lessons from Australia and Canada. *Mining Engineering Journal, 42*(5), 217–230.

Smith, L., & Jones, M. (2020). Physicochemical characterization of groundwater in deep underground mines. *Hydrogeology Journal, 28*(3), 877–891. https://doi.org/10.1007/s10040-020-02139-y

Smith, N., Jacobs, H., & Mwangi, G. (2018). Arsenic and cyanide contamination in gold mine groundwater systems in South Africa. *Journal of Hydrology, 561*, 145–155. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.021

Sovacool, B. K., Hook, A., Martiskainen, M., & Baker, L. (2020). The decarbonisation divide: Contextualizing landscapes of low-carbon exploitation and toxicity in Africa. *Global Environmental Change, 60*, 102028. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.102028

Sánchez, M., & Rodríguez, L. (2022). Influencia de las aguas residuales del lanzamiento de shotcrete en la calidad del agua subterránea en minas subterráneas de la Sierra Central del Perú. *Revista de Ingeniería Ambiental, 18*(2), 45–58. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10138727

Tannant, D. D. (2001). Load-deformation behavior of rock reinforcement. *International Journal of Rock Mechanics, 38*(3), 343–352.

Tapia Choquehuanca, J. (2008). *Manual del shotcrete: Proyección de hormigón*. Universidad Nacional de Ingeniería. https://cybertesis.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/1851

Thomas, R. (2013). *Practical guide to ICP-MS: A tutorial for beginners* (3.ª ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b15418

Tomás, R., Cuenca, A., & Delgado, J. (2004). Corrección del RMR en función del buzamiento y tipo de excavación. *Revista Geotécnica, 147*(2), 35–43. https://www.revistasgeotecnicas.com/articulo/rmr-correccion-tomas.pdf

Torres, J., Guevara, M., & León, A. (2019). *Evaluación del impacto del shotcrete sobre la calidad del agua subterránea y estrategias de mitigación en la mina La Zanja, Cajamarca* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca].

U.S. Environmental Protection Agency. (2014). *Reference guide to treatment technologies for mining-influenced water*.

UNI. (2019). *Sostenimiento con shotcrete en una mina subterránea mecanizada*. Universidad Nacional de Ingeniería.

US EPA. (2017). *Secondary drinking water standards: Guidance for nuisance chemicals*. United States Environmental Protection Agency.

Valencia, C., & Salazar, H. (2018). Tecnología del shotcrete en minería mecanizada. *Revista de Ingeniería Minera, 9*(1), 45–59.

Valenta, R. K., Kemp, D. L., Owen, J. R., Corder, G. D., & Lèbre, É. (2020). Re-thinking complex orebodies: Consequences for the future world supply of

copper. *Journal of Cleaner Production, 275*, 123034. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123034

Valenzuela, J., & Buendía, G. (2020). Geología local: conceptos básicos y su aplicación en la caracterización de terrenos. *Revista de Geología Aplicada, 15*(2), 45–58.

Vargas, D. E., & Alarcón, J. L. (2023). Caracterización hidroquímica de aguas subterráneas dentro del área urbana de Sucre, Bolivia. *Revista Geológica de América Central, 68*, 1–20. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-26522023000100001&script=sci_arttext

Vargas, M., et al. (2018). Characterization of mining wastewater in the Central Sierra region of Peru: Implications for environmental management. *Environmental Science and Pollution Research, 25*(7), 1283–1302.

Volcan Compañía Minera. (2022). *Informes técnicos de interpretación hidrogeológica y caracterización de aguas residuales en cinco unidades mineras*.

WHO. (2011). *Guidelines for drinking-water quality* (4.ª ed.). World Health Organization.

WRC. (2017). *Numerical modelling of groundwater in South African mines*. Water Research Commission. https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT%20730-17.pdf

Water Research Commission. (2001). *Mine water treatment technologies*. WRC Report No. KV 129/00.

Wu, H., Meng, X., Wang, Y., & Zhang, J. (2021). Hydrochemical characteristics and health risk assessment of groundwater in coal mining areas: A case study in Huainan, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(1), 93. https://www.mdpi.com/1660-4601/18/1/93

Younger, P. L., Banwart, S. A., & Hedin, R. S. (2002). *Mine water: Hydrology, pollution, remediation*. Springer.

Zhang, T., Chen, Y., & Liu, J. (2017). Evaluation of shotcrete degradation and leachate chemistry in underground mining environments. *Tunnelling and Underground Space Technology, 68*, 97–105.

Zhang, T., Zhao, Y., & Wang, H. (2019). Safety assessment and prediction in underground coal mines: A review. *Safety Science, 118*, 81–92. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.05.002

Zhou, X., Zhang, Y., & Li, J. (2021). Global mineral demand and the supply chain of strategic metals: Challenges and perspectives. *Resources Policy, 71*, 101987. https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14070/2203

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

REPORTE DE LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO N° 2-00139/23

DATOS DEL CLIENTE		
Solicitado por	:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
Domicilio legal	:	CAL. ANCASH 1RA CUADRA S/N - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA - MOQUEGUA
DATOS DE LA MUESTRA		
Producto declarado [A]	:	AGUA DE PROCESO - 1 AGUA DE PROCESO - 2
Lugar de Muestreo [A]	:	MOQUEGUA
Fecha de Muestreo [A]	:	2023-07-29
Procedencia	:	Muestra proporcionada por el solicitante
Cantidad recibida	:	2 muestras x 1.25 Litros
Presentación y condición de recepción	:	En Frasco de Plástico Y Vidrio, Cerrado, Refrigerado Y Preservado
Identificación y descripción [A]	:	Según se indica
Fecha de recepción	:	2023-06-29
Fecha de inicio del ensayo	:	2023-07-17,
Fecha de término del ensayo	:	2023-07-20
Ensayo realizado en	:	Laboratorio Ambiental Arequipa
Identificado con	:	HS 23005178 (EXMA-08981-2023)
Validez del documento	:	Este documento es válido solo para la muestra descrita.

Proyecto:				
Puntos de muestreo [A]	Coordenadas UTM WGS 84		Descripción de la Estación de Monitoreo	Observaciones
	ESTE	NORTE		
01	------	------	------	------
02	------	------	------	------

[A] *Datos proporcionados por el solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el solicitante pueda afectar la validez de los resultados*

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

INFORME DE ENSAYO N° 2-00139/23

RESULTADOS

		Estación de Muestreo	01	02
		Fecha y Hora de Muestreo	2023-07-29 10:00	2023-06-29 10:00
		Tipo de Muestra	Agua de Proceso	Agua de Proceso
Parámetro	*Límite de Detección*	*Unidad*	*Resultados*	*Resultados*
Parámetros Orgánicos				
Aceites y Grasas	0,50	mg/L	<0,50	<0,50
Metales Disueltos por ICP-MS				
Aluminio (Al)	0,003	mg/L	0,507	0,810
Antimonio (Sb)	0,00007	mg/L	<0,00007	<0,00007
Arsénico (As)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003
Bario (Ba)	0,00007	mg/L	0,18382	0,08223
Berilio (Be)	0,00001	mg/L	<0,00001	<0,00001
Bismuto (Bi)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005
Boro (B)	0,002	mg/L	<0,002	<0,002
Cadmio (Cd)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005
Calcio (Ca)	0,02	mg/L	238	94,6
Cobalto (Co)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004
Cobre (Cu)	0,00004	mg/L	0,01887	0,04236
Cromo (Cr)	0,0003	mg/L	<0,0003	<0,0003
Estaño (Sn)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003
Estroncio (Sr)	0,00005	mg/L	1,32	0,78429
Fósforo (P)	0,02	mg/L	<0,02	<0,02
Hierro (Fe)	0,00009	mg/L	0,81242	1,03
Litio (Li)	0,00005	mg/L	<0,00005	<0,00005
Magnesio (Mg)	0,002	mg/L	0,238	0,105
Manganeso (Mn)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006
Mercurio (Hg)	0,000003	mg/L	<0,000003	<0,000003
Molibdeno (Mo)	0,00004	mg/L	0,01173	0,00920
Níquel (Ni)	0,00002	mg/L	0,00476	<0,00002
Plata (Ag)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004
Plomo (Pb)	0,00004	mg/L	0,01405	0,00520
Potasio (K)	0,02	mg/L	84,8	88,1
Selenio (Se)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006
Silicio (Si)	0,05	mg/L	<0,05	<0,05
Sodio (Na)	0,003	mg/L	472	391
Talio (Tl)	0,00003	mg/L	<0,00003	<0,00003
Teluro (Te)	0,00006	mg/L	<0,00006	<0,00006
Titanio (Ti)	0,0001	mg/L	0,2254	<0,0001
Uranio (U)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004
Vanadio (V)	0,00003	mg/L	0,00458	0,00656
Wolframio (W)	0,00004	mg/L	<0,00004	<0,00004
Zinc (Zn)	0,00004	mg/L	0,40128	0,30734

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

INFORME DE ENSAYO N° 2-00139/23

MÉTODOS

Metales Disueltos por ICP-MS : ISO 17294-2. 2016. Water quality -- Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) -- Part 2: Determination of selected elements including uranium isotopes

Aceites y Grasas : EPA Method 1664, Revision B. 2010. n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry

OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Arequipa, 24 de julio de 2023

BORRADOR

" EL USO INDEBIDO DE ESTE INFORME DE ENSAYO CONSTITUYE DELITO SANCIONADO CONFORME A LA LEY, POR LA AUTORIDAD COMPETENTE"

"Este documento ha sido emitido con firma digital"

ANEXO 2

PANEL FOTOGRAFICO DEL ANALISIS DE

LABORATORIO

Figura 20

Fraguado de la mezcla de shotcrete



Figura 21

Mezcla de shotcrete + agua



Figura 22

aseguramiento del sostenimiento de shotcrete a la estructura base



Figura 23

Aditivo SikaCem plastificante-Sika



Figura 24

Aditivo SikaCem Acelerante - Sika



Figura 25

Agua destilada para el análisis



Figura 26

Maqueta demostrativa

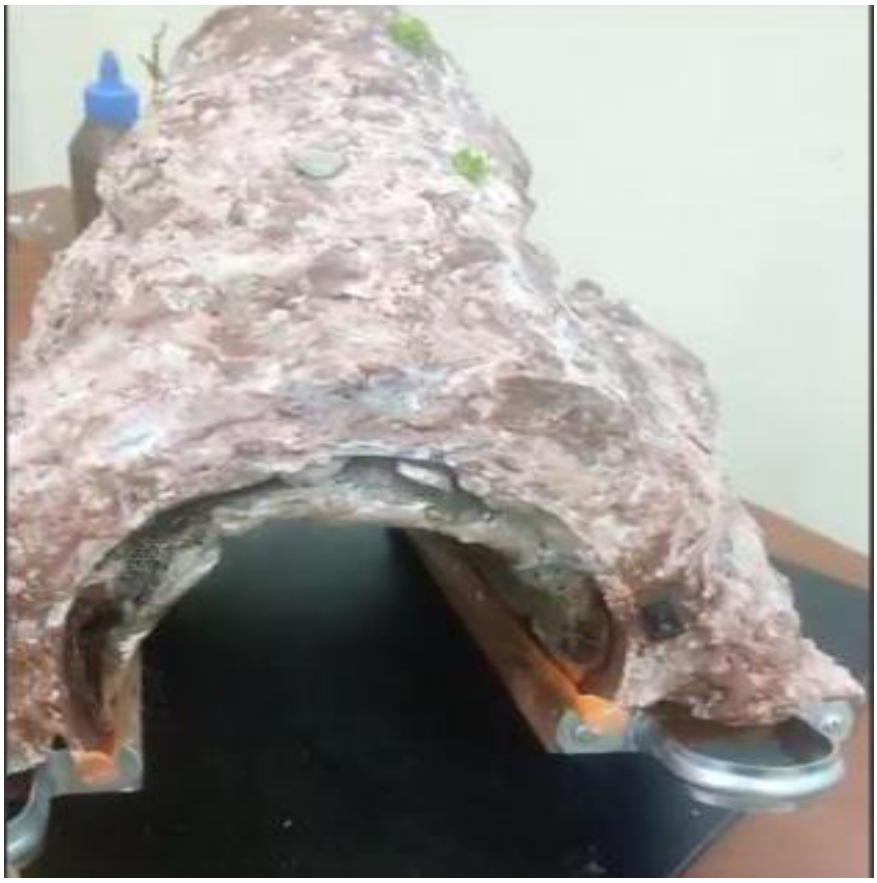


Figura 27

Zona interior de la maqueta (shotcrete + malla + efluentes)



ANEXO 3

FICHA DE SEGURIDAD DE LOS COMPONENTES DEL

SHOTCRETE

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) n° 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) n° 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:***
CO2, 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)

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)

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)

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 alumino ferrice (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 alumino ferrice (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 Fisicas y Quimicas

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 álcali 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.

HOJA DE SEGURIDAD: FIBRAS METALICAS LH35/0.7

1. IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA Y LA COMPANIA

Bogotá, D.C., Calle 20 C No. 43A - 52 Int. 4
PBX: (1) 2088600 - FAX: (1) 368 08 87
www.toxement.com.co e-mail: atencioncliente@toxement.com.co
ASESORÍA TÉCNICA
MEDELLIN: (574) 4480121 - CALI: (572) 5242325 - BARRANQUILLA: (575) 3706592
CARTAGENA: (575) 6536231 - BUCARAMANGA: (576) 6450804- COSTA RICA: 007506888426417- PANAMÁ: 00750766168177-
ECUADOR: 007593-9 8407845

NOMBRE COMERCIAL: FIBRAS METÁLICAS LH35/0.7

NOMBRE QUIMICO: Alambre de acero galvanizado y no-galvanizado

TELEFONOS DE EMERGENCIA:
CISTEMA: (ARL SURA): 018000511414 (24 horas)
CRUZ ROJA: 132 ; BOMBEROS: 119

2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Visión general: Riesgo muy bajo en condiciones de uso normal

SISTEMA GLOBALMENTE ARMONIZADO (SGA):

Efectos adversos para la salud

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.

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 centro 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.

EFECTOS DE SOBREXPOSICIÓN POR COMPUESTO

En forma inerte, el alambre de acero no debe presentar efectos tóxicos. Sin embargo, humos peligrosos o polvos pueden resultar durante el calentamiento, molienda, corte, soldadura u operaciones relacionadas. Las cubiertas no-metálicas en el alambre también deben ser consideradas en la sección “Información adicional o miscelánea”. 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, divalentes, y trivalentes son de muy poca toxicidad. La forma hexavalente (tal y como ocurre en cromatos y ácido cromático) 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, edemas, 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 (conjuntivo). Estudios en animales o epidemiológicos se han relacionado con el níquel y sus compuestos, al tener una incidencia incrementada de cáncer 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 (tal y 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 6 a 48 horas y es más dado 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 superado 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 carcinógeno: la NTP y la IARC consideran al cromo y ciertos compuestos de cromo, como carcinógenos 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 posibles 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	0-0.86	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
Óxido de Zinc	0-0.1	1314-13-2
Dist. Petroleo	0-0.5	8002-05-9
Dist. Parafinico	0-0.5	64742-65-0
Asfalto	0-1.0	8052-42-4
Micro elementos	0-0.05	(Ce, 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

RIESGOS DURANTE INCENDIO

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

AGENTE DE EXTINCIÓN:

No usar agua en metales fundidos; usar extintor de polvo seco.

PRODECIMIENTOS ESPECIALES PARA COMBATIR EL FUEGO

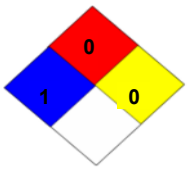
Use los elementos de protección personal contra fuego.

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

Límites de Inflamabilidad:
LEL: No aplica UEL: No aplica

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.
PRECAUCION: 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
Óxido de Zinc	N/A	10 mg/m³	No disponible
Dist. Petroleo	N/A	5 mg/m³	No disponible
Dist. Parafinico	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.

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

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

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

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

APARIENCIA	Sólido, metálico	PUNTO DE EBULLICIÓN	No aplica
COLOR	Gris	DENSIDAD DEL VAPOR (aire=1)	No aplica
OLOR	Inoloro	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. INFORMACIÓN 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 DISPOSICION 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
Numero 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

RÓTULO PARA TRANSPORTE (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 Transporte 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 mercancias peligrosas. Tarjeta de Emergencia para el transporte.

PREPARADO POR: DEPARTAMENTO TECNICO	**FECHA**: ENERO DE 2014
TELÉFONO: BOGOTÁ (1) 2088600	**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.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (MSDS)

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

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

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.

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

MasterGlenium SCC 3800

Aditivo reductor de agua de alto rango para concreto

CONSIDERACIONES

Temperatura:
MasterGlenium SCC 3800 debe almacenarse a temperaturas superiores a los 5ºC (40ºF). 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:	Mín 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.

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 (CO_2)
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 amoníaco. 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 formaldehido, que es/son conocida/s por el Estado de California como causante/s de cáncer. Para mayor información ir a www.P65Warnings.ca.gov.

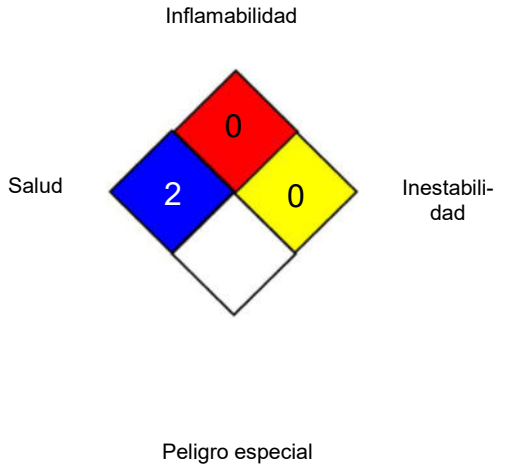
Los componentes de este producto están presentados en los inventarios siguientes:

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

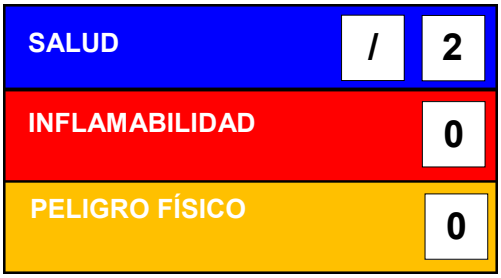
SECCIÓN 16. OTRA INFORMACIÓN

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 limite superior:
NIOSH / Ceil_Time	:	Valor limite 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

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

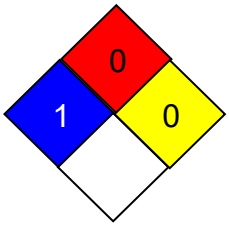
Teléfono de emergencia : Intoxicaciones, CITUC: + 56 2 2635 3800
Emergencias Químicas, CITUC-QUIMICO: +56 2 2247 3600

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 Nº40 Informar sobre los riesgos de exposición.
- Decreto Supremo Nº43 Almacenamiento de sustancias peligrosas. Versión 2015
- Decreto Supremo Nº72, Art. 16 Reglamento de Seguridad Minera.
- Decreto Supremo Nº148 Disposición de Residuos Peligrosos.
- Decreto Supremo Nº298 Transporte de carga de sustancias o productos peligrosos o que presenten riesgos para la salud de las personas.
- Decreto Supremo Nº594 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

Construcción

Hoja de Seguridad

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

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

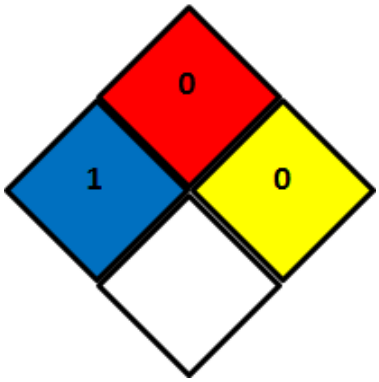
2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

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

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

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 limites 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.

Construcción

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

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

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 (CO_2)
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 amoníaco. 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 formaldehido, que es/son conocida/s por el Estado de California como causante/s de cáncer. Para mayor información ir a www.P65Warnings.ca.gov.

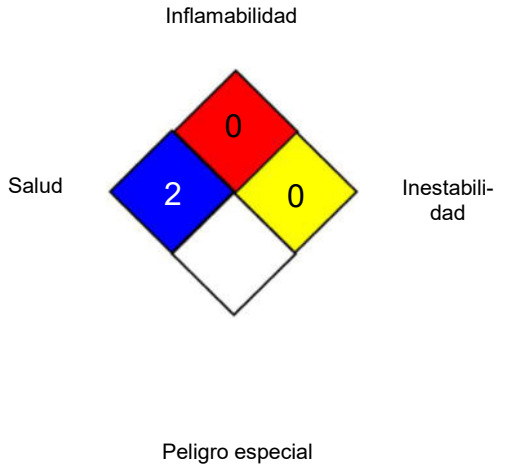
Los componentes de este producto están presentados en los inventarios siguientes:

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

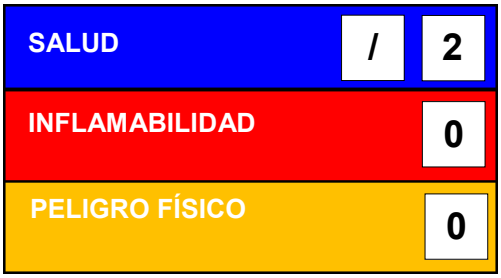
SECCIÓN 16. OTRA INFORMACIÓN

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 limite superior:
NIOSH / Ceil_Time	:	Valor limite 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

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

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 : Allison Tatiana Navarrete Gonzales
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 70479379
Correo electrónico : alli.navago@gmail.com
Teléfono/Celular : 950288687

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 : CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES MINERAS EN 05 U.M. DE LA SIERRA CENTRAL DEL PERÚ Y SU RELACIÓN CON EL SHOTCRETE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.4.2
c) Fecha de publicación : 31 DE JULIO DEL 2025

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : JORGE LUIS TOMÁS FLOREZ SALAS
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 00790320
c) ORCID : 0000-0003-4971-4330

FIRMA :

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 70479379
NOMBRES Y APELLIDOS : ALLISON TATIANA NAVARRETE GONZALES

"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 : 70479379

NOMBRES Y APELLIDOS : Allison Tatiana Navarrete Gonzales

FECHA : 23/12/2025



ANEXO VIII

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

Yo, Allison Tatiana Navarrete Gonzales,
bachiller de la Escuela Profesional de:
Ingeniería de Minas,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº... 70479379, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional denominado:
CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LAS AGUAS RESIDUALES MINERAS EN 05 U.M. DE LA SIERRA CENTRAL DEL PERÚ Y SU RELACIÓN CON EL SHOTCRETE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA

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, 23 de Diciembre, 2025



Huella digital

Nombres y Apellidos: Allison Tatiana Navarrete Gonzales
DNI: 70479379

Tesis - Bach. Allison Tatiana Navarrete Gonzales FINAL.pdf

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::23228:472402886

Fecha de entrega
7 jul 2025, 6:25 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
7 jul 2025, 7:06 p.m. GMT-5

Nombre de archivo
Tesis - Bach. Allison Tatiana Navarrete Gonzales FINAL.pdf

Tamaño de archivo
8.1 MB

209 Páginas

57.445 Palabras

326.439 Caracteres

ING. JORGE LUIS FLORES SOLIS

18% 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

8% Fuentes de Internet
15% Publicaciones
13% 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

8% Fuentes de Internet
15% Publicaciones
13% 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 Internet
assets.master-builders-solutions.com 6%

2 Publicación
CLB TECNO LOGICA S.A.C. "ITS del Proyecto Implementación de Sistemas de Ensa... 3%

3 Trabajos entregados
Universidad del Istmo de Panamá on 2024-03-26 1%

4 Trabajos entregados
Universidad Francisco de Vitoria on 2021-12-20 <1%

5 Publicación
CLB TECNO LOGICA S.A.C. "Actualización del Plan de Manejo Ambiental del DAP d... <1%

6 Publicación
INERCO CONSULTORIA PERU S.A.C.. "PAD de los Componentes Auxiliares del Parq... <1%

7 Publicación
APS INGENIEROS S.A.C.. "DAA de la Planta Dedicada a Actividades de Impresión-I... <1%

8 Publicación
M. E. Soltan, M. N. Rashed. "Impact of the wastedump ecosystem (phosphate ore ... <1%

9 Publicación
INVESCAPERU S.A.C.. "PAMA de la Planta Industrial de Curtido de Pieles de Vacun... <1%

10 Trabajos entregados
Universidad Anahuac México Sur on 2022-11-01 <1%

11 Publicación
CONSULTORIA CARRANZA E.I.R.L.. "Actualización del Plan de Manejo Ambiental d... <1%

12 Publicación
GREEN ENVIRONMENT S.A.C.. "Actualización del Plan de Manejo Ambiental del EI... <1%

13 Trabajos entregados
Universidad Europea de Madrid on 2021-11-01 <1%

14 Trabajos entregados
Universidad Europea de Madrid on 2025-02-03 <1%

15 Publicación
CONSULTORIA CARRANZA E.I.R.L.. "DAA de la Planta Industrial de Fabricación de ... <1%

16 Trabajos entregados
Universidad Francisco de Vitoria on 2024-05-22 <1%

17 Publicación
ALTAMIRANO PROYECTOS SOSTENIBLES S.A. A.. "DAAC para el Fundo Ilusión Berri... <1%

18 Trabajos entregados
Universidad Autónoma de Bucaramanga,UNAB on 2023-03-15 <1%

19 Trabajos entregados
Consorcio CIXUG on 2023-09-01 <1%

20 Publicación
Nakamura Consultores S.A.C.. "Actualización de los Instrumentos Ambientales de... <1%

21 Publicación
GREEN ENVIRONMENT S.A.C.. "DAA de la Planta Industrial Dedicada a la Fabricaci... <1%

22 Publicación
ENVIRONMENTAL QUALITY ANALYTICAL SERVICES S.A.. "DAA de la Planta Industri... <1%

23 Publicación
ENVIROPROYECT S.R.LTDA.. "DAA Colectivo de las Plantas de Fabricación de Pintu... <1%

24 Publicación
ENVIROPROYECT S.R.LTDA.. "DAA de la Planta Zárate de Fabricación de Telas de la... <1%

25 Trabajos entregados
Universidad Nacional de Educación a Distancia on 2023-10-10 <1%

26 Publicación
NAKAMURA CONSULTORES SAC - NAKCSAC. "Actualización del Plan de Manejo Am... <1%

27 Publicación
APS INGENIEROS S.A.C.. "Actualización del Plan de Manejo Ambiental del EIA de la... <1%

28 Publicación
ENVIROPROYECT S.R.LTDA.. "DAA de la Planta Industrial de Producción de Produc... <1%

29 Publicación
IGEM INGENIEROS S.A.C.. "DAA para la Planta Industrial Dedicada a la Tintorería, ... <1%

30 Publicación
NAKAMURA CONSULTORES SAC - NAKCSAC. "Actualización del Plan de Manejo Am... <1%

31 Publicación
CENTRO DE ESPECIALIZACION AMBIENTAL S.A.C. - CENESAM S.A.C.. "DAA de la Pla... <1%

32 Publicación
CLB TECNO LOGICA S.A.C. "Plan de Cierre Detallado Total Definitivo de la Planta d... <1%

33 Trabajos entregados
Universidad de Alicante on 2018-09-24 <1%

34 Publicación
Yaneth Vasquez, Carmen M. Neculita, Gerardo Caicedo, Jairo Cubillos et al. "Passi... <1%

35 Publicación
WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "Actualización del E... <1%

36 Publicación
CONSULTORIA CARRANZA E.I.R.L.. "DAP de la Planta de Fabricación y Comercializ... <1%

37 Publicación
GEO AMBIENTAL SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA. "PAMA... <1%

38 Publicación
GVR CONSULTORIA AMBIENTAL E.I.R.L. "DAA de la Planta de Fabricación de Recipi... <1%

39 Publicación
"Modelo conceptual hidrogeológico de la cuenca del Salar del Huasco", Pontificia ... <1%

40 Trabajos entregados
Universidad Europea de Madrid on 2024-03-12 <1%

41 Publicación
CONSULTORIA CARRANZA E.I.R.L.. "Actualización del Plan de Manejo Ambiental d... <1%

42 Trabajos entregados
Universidad Anahuac México Sur on 2023-05-03 <1%

43 Publicación
APS Ingenieros S.A.C.. "Actualización del EIA de la Planta Santa Rosa-IGA0009024"... <1%

44 Publicación
ENVIROPROYECT S.R.LTDA.. "DAA de la Planta Industrial Chiclayo Dedicada a la Ed... <1%

45 Publicación
Dolores Esmilda Castillo Vereau, Lurdes Tuesta Collantes, Seiri Eric Salazar Saldañ... <1%

46 Publicación
J. D. Fernández-Gutiérrez, H. Pérez-Acebo, D. Mulone-Andere. "Correlación entre e... <1%

47 Publicación
ENVIROPROYECT S.R.LTDA.. "DAA para la Planta Amauta Dedicada a Impresiones ... <1%

48 Publicación
Francisco Javier Mora Sánchez, Agustín Gómez-Álvarez, Martín Encinas-Romero, J... <1%

49 Publicación
Singh, Bineet, Jaspal Singh Chauhan, and Anuraag Mohan. "A construction of wat... <1%

RESOLUCIÓN DE CONSEJO UNIVERSITARIO
N° 277-2026-CU

Moquegua, 23 de abril de 2026

VISTOS:

El Proveído N° 1459-2026-R de fecha 26 de marzo de 2026 emitido por el Rectorado, Informe N° D0173-2026-UNAM-R-SG de fecha 24 de marzo de 2026 emitido por el Secretario General, Informe Técnico N° D0040-2026-SG-GT de Grados y Títulos, Resolución de Consejo de Facultad N° 040-2026-CF-FAIN-UNAM de fecha 13 de marzo de 2026, el Acuerdo del Pleno del Consejo Universitario de Sesión Ordinaria N° 04-2026-SO-CU-UNAM, de fecha 01de 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 8° de la Ley N° 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 N° 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 Resolución de Consejo de Facultad N° 040-2026-CF-FAIN-UNAM, de fecha 13 de marzo de 2026, el Coseno de Facultad de Ingenierías aprobó el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero de Minas por la modalidad de Tesis, a tres (03) 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: OLIVER HUARACHI LAURA, SHANTALL TREYSI FERNÁNDEZ TICONA y ALLISON TATIANA NAVARRETE GONZALES;

Que, mediante Informe Técnico N° D0040-2026-SG-GT de fecha 23 de marzo de 2026, e Informe N° D0173-2026-UNAM-R-SG de fecha 24 de marzo de 2026, el Secretario General de la UNAM, remite al Rectorado el expediente para el trámite de Título Profesional de Ingeniero de Minas a los Bachilleres: OLIVER HUARACHI LAURA, SHANTALL TREYSI FERNÁNDEZ TICONA y ALLISON TATIANA NAVARRETE GONZALES 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 dicho expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión Extraordinaria de Consejo Universitario de fecha 01 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 (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;

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° 277-2026-CU

Moquegua, 23 de abril de 2026

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 Ordinaria N° 04-2026-SO-CU-UNAM, de fecha 01 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 sustentación de tesis a los Bachilleres: OLIVER HUARACHI LAURA, SHANTALL TREYSI FERNÁNDEZ TICONA y ALLISON TATIANA NAVARRETE GONZALES, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingenierías 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

- **OLIVER HUARACHI LAURA**
- **SHANTALL TREYSI FERNÁNDEZ TICONA**
- **ALLISON TATIANA NAVARRETE GONZALES**

El **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS.**
Por la modalidad de SUSTENTACIÓN DE TESIS, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, de la Facultad de Ingenierías 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;

MTRO. JOSE LUIS PACHECO CACERES
SECRETARIO GENERAL

DR. HUGO RUBEN MARCA MAQUERA
RECTOR
PRESIDENTE DEL CONSEJO UNIVERSITARIO

DISTRIBUCION:
VRA,
VRI,
FAIN,
EPIM,
GyT
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