



PARA DUCTOS SIN FALLAS

Revisamos los atributos constructivos y medidas aplicadas para evitar que problemas en las tuberías mineras impacten el entorno natural y humano.



Aportando a la historia de la minería chilena, Juan Rayo, fundador de la empresa JRI Ingeniería, señala en un escrito que el primer ducto de pulpas mineras de larga distancia fue construido en Chile en la década de los 50. Correspondió al concentrado Salvador-Llanta, de Codelco Salvador, compuesto de dos ductos de más de 20 km. de largo cada uno y que transportó, hasta 2017, cerca de mil toneladas diarias de concentrado de cobre.

Hoy, unas 25 líneas de transporte de este tipo, de más de 10 km., permiten a las empresas mineras que operan en Chile movilizar, principalmente, mineral molido, concentrado de cobre y hierro, y relaves.

Entre los proyectos, además, destaca Los Bronces Integrado de Anglo American, que considera un nuevo mineroducto de 52 km., un acueducto de 38 km. y el reemplazo de 20 km. del mineroducto existente.

En el rubro también prestan servicio tuberías que transportan, por largas distancias, agua desalinizada y agua recuperada de instalaciones como tranques de relave. Por ejemplo, Minera Escondida conduce agua desalada desde la costa de Antofagasta hasta la mina, emplazada a 3.332 metros sobre el nivel del mar, a través de tuberías que se extienden por 178 km.

Entre las iniciativas en carpeta figura el sistema de impulsión de agua para uso industrial



desde el depósito de relaves Ovejera a la planta concentradora de División Andina, a cargo de Codelco, de unos 70 kilómetros de extensión.

¿Qué tan seguros son los ductos de la actividad minera? En las décadas y años recientes han presentado diversas fallas que han puesto, de alguna manera, en entredicho su integridad. La última ocurrió el 9 de julio de 2023, cuando la rotura de una tubería de relaves de minera Las Cenizas provocó escurrimientos de este desecho tóxico en la provincia de Petorca. Catorce meses antes, minera Los Pelambres sufrió la rotura de una de las tuberías de su concentrado en la comuna de Salamanca, afectando al río Choapa.

ATRIBUTOS CONSTRUCTIVOS

Para evitar o minimizar la ocurrencia de esos u otros incidentes, Sebastián Rayo, gerente de la Unidad de Negocios Pipeline de JRI Ingeniería — que posee una vasta trayectoria en el diseño de sistemas de transporte de pulpas— sostiene que es clave realizar la caracterización más completa posible del fluido que será transportado. *“Para las pulpas mineras, es relevante poder proyectar en forma adecuada las condiciones de transporte hidráulico, por lo que es fundamental caracterizar extensamente la reología y granulometría. Además, para diseñarlas de buena manera, se deben proyectar las condiciones de desgaste de una tubería de acero (por corrosión, abrasión o tendencia a la incrustación). Para eso, es esencial contar con ensayos complementarios, como su caracterización fisicoquímica, para determinar la tendencia corrosiva y/o incrustante del fluido; o biológica, para identificar la presencia de bacterias que puedan generar condiciones de pitting (corrosión localizada) en el metal”, asegura.*

Víctor Frangie, gerente de Integridad de Pipelines de Ausenco, otra empresa relevante de este mercado, señala que, para minimizar el riesgo de fallas, *“los ductos mineros deben cumplir con normas de diseño internacionalmente reconocidas, como API 5L y ASME B31.4. Estas regulaciones establecen requisitos relacionados a selección de materiales, espesores, procedimientos de soldadura, entre otros, aspectos fundamentales para soportar los esfuerzos mecánicos y resistir las características fisicoquímicas del fluido transportado”.*

A su vez, Kurt Berger, ingeniero de aplicaciones de AGRU, también del rubro, precisa que las tuberías deben diseñarse adecuadamente, ser resistentes a la abrasión, y muy confiables, libres de mantenimiento y duraderas.

Los ductos mineros deben cumplir con normas de diseño internacionalmente reconocidas, como API 5L y ASME B31.4.

Agrega que es crucial, además, la técnica de unión que tengan. *“Se recomiendan tuberías fabricadas con PE 100-RC, un polietileno resistente a grietas por estrés”, dice.*

Revela, asimismo, que los problemas más frecuentes que las afectan son dos: fugas causadas por golpes de presión en las uniones de las tuberías y el desgaste por abrasión en zonas de cambios de dirección o codos. Indica que para resolverlos *“se recomienda un sistema de soldado homogéneo con resistencia a la tracción y codos de gran radio o, aún mejor, productos del programa Mineline con una capa interior adicional resistente a la abrasión”.*

Por su parte, Sebastián Rayo sostiene que *“la operación de los ductos mineros es bastante segura. Los eventos de fallas mayores, como roturas, son muy eventuales y han tenido impactos que han sido acotados. Lo más común es escuchar referencias de ductos que presentan disminuciones en la capacidad de porteo, usualmente asociadas a*



Sebastián Rayo aporta recomendaciones para evitar o minimizar la ocurrencia de incidentes en tuberías.

tendencias incrustantes del fluido que está siendo transportado. Y falencias en la etapa de diseño por no considerar condiciones extremas del servicio, como, por ejemplo, presencia de arcillas con impacto en la reología”.

Especifica que, para las incrustaciones, la solución pasa por la implementación periódica de procesos de limpieza mecánicos (pigs) o incluso químicos (previa evaluación técnica de la necesidad/factibilidad). Y ante disminuciones de capacidad por presencia de arcillas, afirma que *“hay que evaluar el repotenciamiento del sistema, incorporar bombas cizalladoras, analizar y reemplazar floculantes”.*

CAUSAS Y SOLUCIONES

Víctor Frangie revela que las principales amenazas en ductos mineros pueden agruparse →

DATO

1 Servicio: En su rol de diseñador y consultor, Ausenco es pionero en la implementación de sistemas de gestión de integridad de ductos basados en riesgo, con una visión integral “de mina al puerto”.





→ según la clasificación de API RP 1160. Las detalla junto con las soluciones:

• **Corrosión externa e interna**

- **Causa:** Exposición del acero a ambientes agresivos y fluidos con propiedades químicas potencialmente corrosivas.
- **Solución:** Aplicación de recubrimientos anticorrosivos, sistemas de protección catódica, monitoreo de espesores y control de la composición del fluido a través de inyección de químicos.

• **Erosión-corrosión**

- **Causa:** Impacto continuo de partículas sólidas sobre la pared interna del ducto. Es frecuente en pulpas como concentrados y relaves.
- **Solución:** Uso de aleaciones resistentes al desgaste, revestimientos internos, control de velocidad de transporte, monitoreo de espesores, inspección inteligente del ducto con herramientas instrumentadas.

• **Defectos de manufactura y construcción**

- **Causa:** Soldaduras deficientes, zonas afectadas por el calor (HAZ) o laminaciones originadas en el proceso de manufactura.
- **Solución:** Inspección mediante radiografía industrial o ultrasonidos, procedimientos de soldadura calificados y reparaciones según códigos ASME o AWS.

• **Fuerzas externas y daños por terceros**

- **Causa:** Intervención accidental de maquinaria pesada, movimientos de tierra o asentamientos geotécnicos.
- **Solución:** Vigilancia permanente con drones y/o patrullaje, monitoreo geotécnico en zonas críticas y señalización adecuada de la franja de servidumbre para evitar daños.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

En relación con el mantenimiento, desde JRI ponen el acento en el concepto de integridad de ductos, "que se ha ido traspasando tanto a los nuevos proyectos que están entrando en operación, como a faenas que presentan ductos con varios años en servicio", revela Rayo.

En ese contexto, expresa que es clave realizar todas las labores que permitan mantener a las cañerías en óptimas condiciones. "Para su inspección oportuna, por ejemplo, existen múltiples herramientas, destacándose el uso de pigs equipados con múltiples sensores y de sistemas de detección de fugas. Con los primeros se realizan mediciones continuas de las condiciones de espesor de la cañería, pudiéndose encontrar sectores que presentan pitting. Los segundos sirven para detectar, en tiempo real, cualquier anomalía en la operación, de manera de tomar acción en forma oportuna y evitar mayores daños al entorno o a terceros", detalla.

Además, para que los ductos mantengan su resistencia, el especialista recomienda: usar aditivos para mitigar procesos de corrosión e in-

crustación; evitar la presencia de bacterias que generen pitting; e incluir en el mantenimiento preventivo elementos asociados a las tuberías como bombas, válvulas, anillos disipadores y filtros para sólidos de gran tamaño.

Victor Frangie, en tanto, comenta que el mantenimiento preventivo en ductos mineros se sustenta en las metodologías de inspección basada en riesgo (RBI) descritas en API RP 580, así como en las directrices de ASME B31.8S para la seguridad de ductos. "El objetivo es programar inspecciones con la frecuencia y alcance adecuados, optimizando el presupuesto de integridad y concentrando esfuerzos en los puntos de mayor vulnerabilidad", asegura.

¿Cuáles son dichas metodologías? Inspecciones inteligentes con herramientas instrumentadas (identificación interna de corrosión, agrietamientos y deformaciones; evaluación periódica del estado del ducto, ajustando planes de mantenimiento y eventual reparación); ensayos no destructivos localizados (ultrasonidos de contacto directo o Phased Array para determinar espesores y detectar fisuras; inspecciones radiográficas en soldaduras y zonas críticas); planes RBI (determinación de la probabilidad de falla y la consecuencia de falla, priorizando intervenciones en los tramos con mayor riesgo; integración de datos históricos y mediciones en tiempo real para afinar estrategias de mantenimiento); y gestión de activos según ISO 55.001 (registro continuo de información operativa y estructural; y análisis predictivos para la toma de decisiones, reduciendo tiempos de inactividad y costos de mantenimiento).

"Este enfoque preventivo no solo prolonga la vida útil de los ductos, sino que aporta a la seguridad y al control del impacto ambiental, asegurando una operación confiable en el largo plazo", indica Frangie.

En el caso del proyecto de Codelco Andina, la Corporación resalta en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) que las inspecciones del sistema de impulsión buscarán detectar anomalías como filtraciones, fallas de terreno, caídas de material, falla en soportes, entre otras. En el mantenimiento de las tuberías, que se realizaría una vez al año, se ocuparán equipos de limpieza denominados raspadores o pigs. "Estos empujarán, utilizando el agua del mismo sistema de impulsión, los residuos que puedan haber quedado al interior de la tubería producto de su operación, como sedimento e incrustaciones, permitiendo recuperar su capacidad de transporte de agua", indica el EIA. 

Es clave realizar todas las labores que permitan mantener a las tuberías en óptimas condiciones.

