



ESPECIAL TÉCNICO

Foto: Cadefico

Ventilación en faenas subterráneas:

Gestionar el aire de forma inteligente

La profundidad cada vez mayor de los proyectos de minería subterránea está empujando a reconfigurar los sistemas de ventilación. Ya no basta solo con reducir contaminantes del interior de la faena, ahora se apunta a bajar el consumo energético y a gestionar el aire. Por Jorge Muñoz

El inminente avance de la minería subterránea en Chile está forzando a incluir cada vez más tecnología de punta e innovación ingenieril, pues, mientras más profunda es la faena, mayores son las exigencias de refrigerar y ventilar la zona de trabajo. Batuta tecnológica que actualmente lleva Chuquicamata y El Teniente, donde han logrado ajustar dinámicamente el suministro de aire en función de la demanda real de cada sector de la mina, reduciendo hasta en un 30% su consumo eléctrico. Evolución en el diseño de los sistemas de ventilación, en la que la disolución de contaminantes pasa poco a poco a segundo plano, mientras que la gestión compleja del estrés térmico y el uso de plantas de refrigeración a gran escala, se posiciona como el desafío principal a abordar. Para el académico de la carrera de Ingeniería Civil en Minas de la Universidad Arturo Prat (Unap), Eslainer Avendaño, la ventilación subterránea ha dejado de ser solo un sistema de dilución de gases, polvo y emisiones, para

transformarse en una herramienta de gestión integral del ambiente de la faena minera. "Hoy el diseño ya no se define únicamente por caudal y presión, sino también por variables térmicas, interacción entre frentes, consumo energético, respuesta ante emergencias y continuidad operacional. En operaciones de gran profundidad, como las que hoy marcan referencia en Chile, eso significa integrar monitoreo en tiempo real, modelamiento dinámico, ventilación por demanda y, cuando las condiciones lo exigen, sistemas de refrigeración capaces de complementar el movimiento de aire", comenta a revista Nueva Minería y Energía. Avendaño explica que, a medida que las operaciones avanzan en profundidad, aumentan las cargas térmicas no solo del macizo rocoso, sino que también las de los equipos y del propio circuito de ventilación. Ahonda en cómo la introducción de maquinaria LHD y CAEX eléctricos ha reconfigurado y rediseñado los desafíos para gestionar el calor generado por



Foto: Codelco

Marcelo Vargas,
gerente de proyectos minería de la VP de Codelco.



Foto: USM

Marcelo Rojas,
docente de la Universidad Técnica Federico Santa María.



Foto: Unap

Eslainer Avendaño,
académico de la Universidad Arturo Prat.

baterías y sistemas de carga rápida desde una lógica integral.

“La electrificación cambia de manera importante el foco del diseño de ventilación, porque al reducirse el peso del material particulado diésel y de los gases de escape, el problema empieza a desplazarse con más fuerza hacia la gestión térmica y operacional. Eso obliga a que los modelos de simulación incorporen con mayor precisión el calor emitido por los equipos, el comportamiento del microclima en los frentes y la distribución real del aire según el tipo de actividad y el nivel de la mina”, especifica el académico de la Unap. Aunque los equipos eléctricos reducen la carga térmica del diésel, no eliminan el problema del calor, y además aparecen nuevos desafíos asociados a infraestructura de carga, concentración de equipos en ciertas zonas y exigencias de control más dinámicas, prosigue el académico.

SISTEMA VOD

Problemática de ventilación subterránea y de gestión del riesgo crítico de atmósferas peligrosas que la estatal Codelco ha comenzado a enfrentar hace un par de años, incluyendo el sistema VoD (Ventilation on Demand) en sus principales proyectos bajo tierra: Chuquicamata y El Teniente, el cual activa los ventiladores solo si detecta equipos trabajando en el sector.

El docente de la Universidad Técnica Federico Santa María (USM), Marcelo Rojas, explica que el sistema VoD “minimiza el costo energético por ventilación, entre un 25 a un 50%, ya que opera de acuerdo a las reales condiciones de trabajo de un sector, lo que permite un uso más eficiente de la ventilación forzada, llevando el aire a los lugares que realmente lo requieran, de acuerdo al real número de equipos y personas que estén en el área”.

Comenta además que a diferencia de Chuquicamata y el Teniente, en la actualidad, gran parte de las faenas en Chile aún operan con sistema de ventilación forzada a caudal constante. “Imponen un flujo de aire preestablecido sin considerar variables críticas como la evolución de los frentes de trabajo, la concentración y dispersión de contaminantes, ni la presencia real de personal en zonas ventiladas. Esta rigidez operacional conlleva un mayor consumo de energía, incrementa los costos operativos y, con frecuencia, genera una asignación subideal del recurso aire, ya sea por exceso en un punto que no lo requiere o déficit localizado”, afirma.

CASO DE ÉXITO

El gerente de proyectos minería de la Vicepresidencia de Proyectos (VP) de Codelco, Marcelo Vargas, da a conocer a Nueva Minería y Energía

“En términos concretos, este cambio ha permitido reducciones de consumo eléctrico del orden de hasta un 30%, tanto en Chuquicamata Subterránea como en El Teniente, detalla Marcelo Vargas, gerente de proyectos minería de la VP de Codelco.

Foto: Codelco



⚙️ A diferencia de los sistemas tradicionales, con el sistema VoD hoy es posible tomar decisiones operacionales inmediatas desde los centros de control, de acuerdo con la actividad que se está desarrollando en cada frente.

“El sistema VoD minimiza el costo energético por ventilación, entre un 25 a un 50%, ya que opera de acuerdo a las reales condiciones de trabajo de un sector, lo que permite un uso más eficiente de la ventilación forzada, llevando el aire a los lugares que realmente lo requieran, destaca Marcelo Rojas, docente de la USM.

que el sistema VoD que hoy opera exitosamente en los dos proyectos subterráneos de la cuprífera estatal, permite que la ventilación se adapte a la totalidad del ciclo productivo, al movimiento de personas y equipos, y a las condiciones ambientales medidas en tiempo real. “En términos concretos, este cambio ha permitido reducciones de consumo eléctrico del orden de hasta un 30%, tanto en Chuquicamata Subterránea como en El Teniente, sin comprometer los estándares de seguridad, ni los requerimientos operacionales”, detalla. “Desde la perspectiva del proyecto Chuquicamata Subterránea, el sistema VoD también contribuye a una mejor gestión del riesgo crítico de atmósferas peligrosas, ya que asegura que el aire requerido esté disponible dónde y cuándo corresponde, eliminando exposiciones innecesarias y optimizando el uso de energía, uno de los principales costos operacionales en minería subterránea”, complementa Vargas. Sobre el impacto de la ventilación inteligente en la jornada de los trabajadores, el gerente de proyectos de Codelco asegura que es “directo y muy significativo”. “A diferencia de los sistemas tradicionales, hoy es posible tomar decisiones operacionales

inmediatas desde los centros de control, ajustando caudales y direcciones de flujo de aire en tiempo real, de acuerdo con la actividad que se está desarrollando en cada frente. Esto se traduce en una mejor regulación de la temperatura, una mayor estabilidad de las condiciones ambientales y, especialmente, en una evacuación mucho más rápida de gases post tronadura, gracias a la integración de sensores de gases y variables ambientales distribuidos en la mina”, precisa.

No es posible imaginar la operación de la mina sin un control remoto de ventilación. Esta facilidad es una herramienta de alto potencial, que permite importantes ahorros energéticos y una gestión mucho más precisa del riesgo. Sin embargo, su éxito depende de dos factores clave: un adecuado mantenimiento de los activos y, especialmente, de una filosofía operacional alineada, con personal especializado que comprenda y gestione el sistema de manera disciplinada.

De igual forma, Marcelo Vargas señala que los nuevos túneles y piques de inyección de aire, parte de los proyectos de optimización recientemente aprobados, pensados para ventilar las operaciones bajo tierra, son determinantes para la continuidad operacional de Chuquicamata Subterránea.

“A medida que la mina crece, se profundiza y se vuelve más compleja, los requerimientos de aire aumentan debido a nuevos diseños, cambios en los criterios operacionales y mayores niveles de actividad productiva. Estas nuevas aerovías permiten asegurar la capacidad de ventilación necesaria para soportar planes productivos de largo plazo, haciendo viable la extensión de la vida útil de la mina por varias décadas más. Sin esta infraestructura, simplemente no sería posible sostener los estándares de seguridad y productividad que hoy exige la minería moderna”, afirma el gerente.