



Ingeniería  
Servicios  
Capacitación

---

**MONITOREO, CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE  
VENTILACIÓN - MINERÍA SUBTERRÁNEA**

Mg. Ing. Raúl Cisternas Yáñez  
Consultor Principal - VDM LTDA.  
CHILE

## MONITOREO, CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN - MINERÍA SUBTERRÁNEA

*“La introducción de tecnologías ligadas al desarrollo de la micro- electrónica, tales como técnicas de monitoreo, automatización, control y telecomando, dentro de las operaciones mineras en general, se ha transformado en una real necesidad”.*

La introducción de monitoreo y control permite satisfacer, sin duda alguna, cuatro objetivos claves; éstos son:

- *Aumento de la productividad del personal, equipos, e instalaciones,*
- *Aumento de la seguridad en las diversas operaciones,*
- *Mejoramiento de las condiciones ambientales,*
- *Uso eficiente de la energía eléctrica.*

En lo que respecta a Sistemas de Ventilación Principal, que atienden los requerimientos de aire en operaciones minero-subterráneas, también se vislumbra como una real necesidad la incorporación de tales tecnologías dentro de la operación de dichos sistemas.

Antes de avanzar en los requerimientos puntuales de monitoreo y control que se perfilan como mínimos para una operación eficiente de un Sistema de Ventilación Principal, se desglosa las siguientes definiciones, de interés:

<b>MONITOREO:</b>	Inspección ó vigilancia de un sistema para conocer su estado.
<b>CONTROL:</b>	Análisis, síntesis y acciones necesarias para modificar un proceso ó para mantenerlo dentro de un estado predeterminado.
<b>AUTOMATIZACIÓN:</b>	Realización de actividades específicas sin intervención directa del ser humano.
<b>TELECOMANDO:</b>	Operación a distancia de un equipo.

El *State of the Art* en lo que respecta a monitoreo, control y automatización de Sistemas de Ventilación en operaciones mineras -a nivel global- se circunscribe fuertemente a **MONITOREO**; es decir, inspección y vigilancia de diversa información, tomada por medio de sensores, durante la operación del sistema.

La información habitualmente monitoreada, es la siguiente:

- Estado on/off de equipos [ventiladores (funcionando ó detenido)],
- Caudal de aire,
- Caída de presión,
- Consumo de energía eléctrica,
- Temperatura ambiente,
- Temperatura en descansos,
- Nivel de vibraciones.

En lo que respecta a **CONTROL** de **OPERACIÓN DE VENTILADORES**, actualmente se ha centralizado las operaciones de partida y parada (Control) -mediante telecomando- de los ventiladores principales. Se ha implementado, además, sistemas de actuación sobre los ventiladores en plena operación, mediante la variación (control) del caudal movido por el ventilador, lo cual, a su vez, permite cambiar el punto de operación del equipo (Q v/s Ps) ; tales sistemas, se basan en dos técnicas específicas, la primera de ellas, consiste en instalar ventiladores con aspas regulables en plena operación, las cuales es posible regular mediante sistemas de telecomando, de acuerdo a las necesidades operacionales de aumento ó disminución de aire ; la segunda técnica, consiste en la variación de la velocidad de rotación (RPM) del motor del ventilador -en plena operación- mediante el uso de un

dispositivo electrónico, denominado Variador de Frecuencia eléctrica (VDF), lo cual también es posible accionar en forma telecomandada.

Otros sistemas de **MONITOREO, CONTROL y AUTOMATIZACIÓN** de **SISTEMAS DE VENTILACIÓN PRINCIPAL**, tiene relación con las operaciones de apertura ó cierre telecomandado de puertas existentes al interior de los circuitos; dentro de la operación de puertas -vía telecomando- se incluye el cierre de puertas contra incendio (confinamiento de sectores) durante situaciones de emergencia de incendio.

En aquellas minas en que se ha desarrollado e implementado técnicas de recirculación de aire en forma controlada (sensores testean condiciones ambientales del aire de extracción a recircular), también se ha implementado sistemas de operación de puertas, mediante telecomando, para lograr tal recirculación.

La implementación de sistemas de **MONITOREO, CONTROL y AUTOMATIZACIÓN** en la operación de ventiladores y Sistemas de Ventilación en general, reportan los siguientes beneficios:

- Información continua del estado on/off (operando ó detenido) de cada uno de los ventiladores principales instalados al interior del sistema,
- Información continua de la operación global de ventiladores (monitoreo de diversas variables de operación de los equipos, tales como caudal de aire, caída de presión, consumo de energía eléctrica, otros), lo cual permite actuar sobre los ventiladores ó sobre los circuitos -según corresponda- en forma inmediata,
- Detención inmediata -en forma telecomandada- de las unidades ventiladoras frente a ocurrencia de alguna emergencia, como por ejemplo: incendio en mina subterránea,
- Rápido cierre de puertas contra incendio al ocurrir un incendio, con lo cual se logra el confinamiento y control del fuego, permitiendo -además- una evacuación más controlada y segura de personas desde interior mina, a superficie ó refugios contra incendio instalados en interior mina,
- Reposición del servicio en corto tiempo luego de una detención,

- Rápida modificación del caudal de aire ante siniestros ó requerimientos operacionales, vía variación de ángulo de aspas en operación ó, mediante cambio de las RPM motor-ventilador, vía variador de frecuencia (VDF),
- Eliminación del riesgo personal por accionamiento de ventiladores -ubicados en áreas siniestradas- u otros dispositivos de control de flujo, tales como puertas de ventilación y reguladores.

En lo que respecta a **monitoreo y control de ambiente subterráneo**, a la fecha se ha desarrollado e implementado un alto número de sensores de contaminantes ambientales, tales como **gases de combustión de equipos diesel, gases de tronadura y, polvo ambiental** ; en cuanto a desarrollo de sistemas de **detección, alarma y extinción automática de incendios**, instalados al interior de recintos previamente definidos como de alto potencial de riesgo de incendio, también se ha avanzado considerablemente, existiendo faenas en nuestro país (CHILE) que ya cuentan con estas tecnologías, ya sea en vías de implementación ó, en plena operación.

#### **REFLEXIÓN:**

Aún cuando exista un alto nivel de desarrollo en Monitoreo, Control y Automatización de Sistemas de Ventilación de Minas, sobre todo en países mineros desarrollados, los sistemas a instalar en una mina en particular dependerán de las propias condiciones y realidad de ésta. Por otro lado, la experiencia indica que, NO es conveniente implementar sistemas altamente automatizados para el monitoreo y control de la ventilación, debido a que, regularmente en terreno puede resultar dificultosa tanto su operación como su mantenimiento; además, es altamente probable que, los COSTOS de inversión, operación y mantenimiento de éstos puedan resultar significativamente mayores que los BENEFICIOS que se desea obtener con su implementación.

## PROPOSICIÓN (VDM LTDA.)

Para una operación eficiente y económica del Sistema de Ventilación Principal de una faena subterránea típica, se propone implementar **-dentro de una primera etapa-** un sistema de monitoreo y control, no excesivamente automatizado (denominado como **sistema semi-inteligente**), el cual permita que personal, previamente capacitado, controle la operación de los ventiladores principales del Sistema de Ventilación y, pueda -en forma absolutamente remota- administrar los estados on/off de ventiladores (ventilador operando v/s ventilador detenido) y estados de puertas batientes de ventiladores (puerta abierta v/s puerta cerrada), logrando con ésto un control eficiente de la operación global del Sistema sin incurrir en alta automatización y, por ende, en altos costos de operación y mantenimiento de tecnologías de más alta sofisticación.

### 1. MONITOREO

*El monitoreo de diferentes variables al interior del Sistema de Ventilación en plena operación, deberá lograrse por medio de la instalación de diversos sensores, más tendido de cables telefónicos u otros, que permitan transmitir las señales de los diferentes estados monitoreados hasta una sala de recepción y control centralizada, la cual denominaremos: Sala de Control Centralizado (SCC).*

En cada uno de los ventiladores principales que operen en nuestra mina modelo, se propone monitorear la siguiente información:

- **Estado on/off (funcionando o detenido) de las unidades ventiladoras**  
Se deberá instalar sensores en cada ventilador principal, los cuales transmitirán el estado monitoreado hacia un tablero con señal lumínica -de estado on/off de cada ventilador- instalado al interior de Sala de Control Centralizado (SCC),
- **Estado de puertas batientes en ventiladores (abiertas o cerradas)**  
Se deberá implementar un sistema de similares características a monitoreo de estado on/off de ventiladores (sensores + señal lumínica),

- **Caudal de aire**

Se deberá instalar sensores de velocidad ( $v$ ) del aire; tal velocidad monitoreada, deberá ser corregida a una velocidad media y, posteriormente, multiplicada por el Área transversal de la sección ( $A$ ) en que se monitoree dicha variable, para obtener finalmente el caudal [ $Q = v \times A$ ].

Los sensores de velocidad, instalados en las galerías de operación de ventiladores, deberán ser capaces de operar en velocidades de aire fluctuantes y en velocidades mínimas (desde 0.5 m/s) y, además, no deberán requerir calibraciones frecuentes.

- **Caída de presión**

Se deberá instalar sensores de caída de presión en ventiladores,

- **Consumo de energía eléctrica motor**

Se deberá instalar sensores para monitorear el consumo de energía eléctrica del motor de cada ventilador,

- **Temperatura ambiente**

Se deberá instalar sensores de temperatura ambiental en área ventiladores,

- **Temperatura en descansos**

Se deberá instalar sensores de temperatura de los descansos de ventilador y motor,

- **Nivel de vibraciones**

Se deberá instalar sensores de vibración.

La totalidad de sensores a instalar en interior mina, deberá ser de fabricación robusta para operar en condiciones subterráneas severas, con alta concentración de polvo, gases y alto nivel de humedad ambiental

## 2. CONTROL

Se deberá implementar los sistemas necesarios para controlar las siguientes operaciones:

- Operación de **partida y detención -vía telecomando-** de cada uno de los ventiladores principales de acuerdo a requerimientos operacionales, **realizada íntegramente por personal de Sala de Control Centralizado (SCC)**. Tal control, permitirá manejar el estado on/off de los ventiladores -en forma totalmente remota- frente a las siguientes situaciones: Cortes, previstos e imprevistos, de suministro de energía eléctrica; detección -vía monitoreo- de alto nivel de vibraciones; altas temperaturas en descansos; bajo caudal de aire; alta caída de presión v/s valor(es) preestablecido(s); situaciones de siniestros; otros,
- Operación de **apertura y cierre -vía telecomando-** de las puertas batientes conectadas al difusor de cada ventilador, las cuales deberán estar abiertas en la condición de operación de la unidad ventiladora, y cerradas, en la condición de detención del ventilador; **tal operación (de apertura y cierre), deberá realizarla personal de Sala de Control Centralizado (SCC) en forma coordinada con el control del estado de partida ó detención (on/off) del ventilador**, es decir, el operador solamente cerrará las puertas batientes -vía telecomando- si el ventilador está detenido; en caso contrario, si se requiere poner en operación el ventilador, el operador deberá activar previamente -en forma remota- el mecanismo de apertura de dichas puertas.

El Sistema de Monitoreo y Control de Ventilación, propuesto acá por VDM LTDA., sólo constituye una primera etapa dentro de un gran Sistema de Monitoreo y Control -con un mayor grado de Automatización- al que debería tenderse definitivamente en toda faena subterránea de cierta envergadura.