



Desarrollo de estudio de prefactibilidad para Ventilación según requerimiento (Ventilation On Demand, VOD) para ahorro de consumo eléctrico en Codelco El Teniente

15 de enero 2021

Edición:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:

Descarbonización del Sector Energía en Chile

Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile
T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:

Rainer Schröer/ Rodrigo Vásquez

En coordinación:

Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile
T +56 22 367 3000
I www.minenergia.cl

Título:

Desarrollo de estudio de prefactibilidad para Ventilación según requerimiento (Ventilation On Demand, VOD), para ahorro de consumo eléctrico en Codelco El Teniente

Informe Final**Autor:**

Sociedad de Desarrollo Tecnológico de la USACH Ltda.

Jefe de Disciplina: PhD. Juan Pablo Hurtado
Ingeniero Consultor: PhD. Enrique Acuña

**Aclaración:**

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto "Eficiencia energética en la minería materias primas y clima" implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa internacional sobre el clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania - BMU. Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Santiago de Chile, 15 de enero de 2021

Contenido

1	DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DEL SISTEMA DE CONTROL	4
1.1	Infraestructura	4
1.2	Personal dedicado	4
1.3	Sistema de control y programación	4
1.4	Mantenimiento	4
1.5	Implementación y operación exitosa	5
2	DETERMINACIÓN DEL CRONOGRAMA ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO Y SUS FASES	8
2.1	Definición aproximada de periodos de ingeniería, construcción, configuración y puesta en marcha	8
2.2	Estructuración de prefactibilidad de plan de proyecto	10
2.3	Descripción de cargo equipo de Integración y Mantenimiento VOD	12
3	PROYECTO DE INVERSIÓN DE PREFACTIBILIDAD	16
3.1	Estimación de costos de inversión y operación	16
3.2	Estimación de beneficios por ahorros de energía	16
3.3	Estructuración de proyecto de inversión y retorno	17
3.4	Estimación de mejoras ambientales - OHS	19
4	PLAN DE MANTENIMIENTO TÍPICO DE SISTEMAS DE CONTROL DE VENTILACIÓN	20
4.1	Descripción y alcances	20
4.2	Componentes del sistema VOD para el mantenimiento	21
4.2.1	Niveles de criticidad	21
4.2.2	Hardware de comunicaciones y controladores	21
4.2.3	Activos de ventilación	22
4.2.4	Suministros y logística	22
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
5.1	Conclusiones	23
5.2	Recomendaciones	24

ANTECEDENTES/ INTRODUCCIÓN

La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, GIZ, en el marco de su programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética 4e, apoya al Gobierno de Chile en actividades destinadas a fomentar la reducción de emisiones CO₂, con investigación y desarrollo, asesoría del marco regulatorio, actividades destinadas a propiciar negocios y financiamiento de proyectos, y a mejorar la sustentabilidad del sector energético en Chile.

En este contexto, la GIZ en el marco del Proyecto “Eficiencia energética en la minería” ha lanzado un proceso de apoyo técnico para empresas del sector minero con el fin de facilitar la implementación de proyectos que estén en fases avanzadas de ingeniería y que reduzcan emisiones a través de la disminución del consumo energético. Al mismo tiempo se busca con esto, aumentar el conocimiento para el sector minero en el ámbito de la eficiencia energética, con el fin de poder generar replicabilidad de proyectos en soluciones particulares.

La ventilación de la mina subterránea permite la operación de extracción de mineral, llevando aire a los túneles de la mina donde trabajan personas y operan maquinarias. Para hacer posible esto, es necesario mover volúmenes de aire según nivel de producción, mediante equipos ventiladores eléctricos, motores de inducción, funcionando 24/7, lo que conlleva un gasto de energía eléctrica relevante. La distribución del aire se realiza con ventiladores secundarios o reforzadores. El proyecto de Ventilación On Demand postulado por la División Codelco Teniente (DET) busca racionalizar el uso de equipos ventiladores secundarios según necesidades, para así reducir el consumo eléctrico.

Una vez implementado este estudio, requerirá una evaluación final para recomendar seguimiento y o expansión a todo el sistema de ventilación secundaria de la mina, incluyendo formulación de un proyecto de inversión sobre la base de los ahorros de energía y costos de operación que significaría.

En este contexto se gestionó una consultoría que tuvo por objetivo desarrollar un estudio de prefactibilidad para permitir que la DET pueda finalizar la implementación de piloto de sistema actual de VOD y **también escalar su aplicación al parque de ventilación secundaria orientada a producción**. El proyecto se ubica en la Región de O’Higgins, comuna de Machalí.

1 DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DEL SISTEMA DE CONTROL

La implementación de un sistema de control de ventilación que incluya estrategias de gestión basadas en la ubicación de las palas de producción (estrategia Pala-Calle) y el personal de apoyo en el nivel de producción, necesita que se cumpla con una serie de requerimientos mínimos para su apropiada ejecución y mantenimiento de sus operaciones en el tiempo.

1.1 Infraestructura

La infraestructura mínima requerida corresponde a una sala de control (con su respectiva estación de operación) con comunicación en tiempo real con la base de datos del sistema de tracking de palas, a su vez, una red de control hacia los PLC, que permitan controlar a los elementos de campo (los ventiladores del nivel de producción en este caso). CODELCO cuenta actualmente con esta infraestructura.

1.2 Personal dedicado

Se requiere personal exclusivo tanto para tareas de implementación (Ingeniería y ejecución) como de mantenimiento de la operación del sistema. Mínimamente, este personal suele estar compuesto por un equipo que incluye a un Ingeniero en Automatización y Control, un Ingeniero de Telecomunicaciones o Informático Industrial, más una cuadrilla de montajistas con especialidad en electricidad y/o telecomunicaciones. CODELCO cuenta actualmente con el personal calificado para estas tareas,

1.3 Sistema de control y programación

Se requieren plataformas, licencias y servidores capaces de alojar un sistema de control, en el cual se sostengan, modifiquen y operen los desarrollos realizados para la programación de las estrategias de control de la ventilación. CODELCO ya cuenta con un software que cumple con las capacidades suficientes para soportar los desarrollos esperados, los cuales fueron probados exitosamente en el proyecto piloto efectuado el 14 de septiembre de 2020 y ahora deben ser replicados al resto de las áreas del nivel de producción de las minas en estudio.

1.4 Mantenimiento

Es primordial que todos los sistemas y componentes involucrados con el control de la ventilación posean un plan matriz de mantenimiento adecuado, oportuno, factible, controlado y con una confiabilidad suficiente. Este punto se trata en extenso en la Sección 4. Adicionalmente esta tarea requiere de recursos mínimos como un Ingeniero en Automatización y Control y dos aforistas de ventilación que permitan velar por el correcto funcionamiento de los ventiladores en terreno y poder reportar condiciones defectuosas

para que los contratos de mantenimiento puedan reparar las redes de comunicación y control y los activos de ventilación.

1.5 Implementación y operación exitosa

Además de los requerimientos mínimos, y en base a la experiencia nacional e internacional del equipo consultor, es que se sugieren un número de claves que ayudarán a asegurar el éxito del proyecto y su futura operación.

Es imprescindible tener siempre presente que un sistema de control de ventilación no es nada más ni nada menos que un desarrollo/software que realiza el control automatizado (o semiautomatizado) de la ventilación en función de ciertos programas o reglas definidas en una filosofía de control. En otras palabras, es únicamente un programa que ejecutará tareas conforme a las reglas que se le definan, siendo estas reglas las que dotan de inteligencia al sistema. Sin embargo, todo aquello que no corresponda al programa mismo, es independiente de este, por ende, no queda exento de atención y gestión humana.

A modo de analogía, es bueno considerar a los sistemas de control de ventilación como si fueran el computador a bordo de un automóvil, que si bien es el encargado de controlar e integrar los diferentes procesos que hacen posible la conducción, no es responsable del buen funcionamiento de cada uno de ellos por sí mismos. Es decir, aunque el computador a bordo decida ir a 100 km/h, este no podrá hacer nada al respecto si el automóvil está falto de una rueda, o estas son más pequeñas de lo que indica el fabricante. Por lo que no es razonable culpar al sistema de control de ventilación de falencias que tengan que ver con el diseño de ingeniería, el mantenimiento o las capacidades del mismo (no se puede pedir a un automóvil generalista que viaje a 300 km/h). Para esto se ha diseñado la Figura 1.1, que pone en contexto de manera gráfica esta analogía, presentando los beneficios que se pueden alcanzar y las claves que lograrían que el automóvil funcione de acuerdo a lo proyectado. Si alguna de estas claves (representadas por las ruedas del automóvil) falla, entonces todo el sistema lo hará en su conjunto y esta falla no podrá ser atribuible al sistema de control de ventilación.

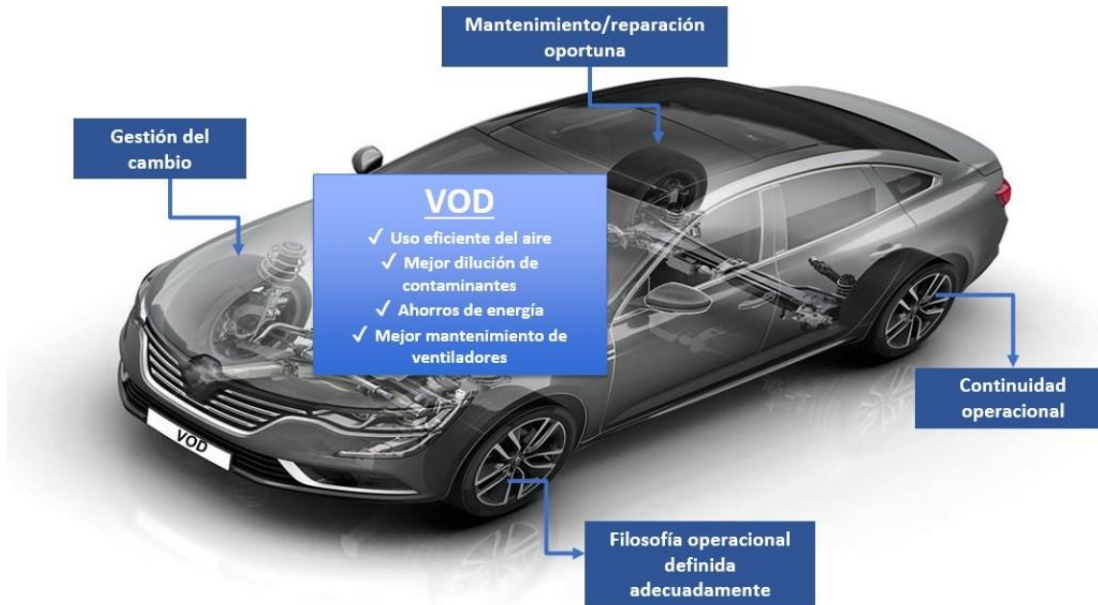


Figura 1.1: Esquema gráfico de puntos claves para la implementación y operación del sistema de control de ventilación proyectado.

De esta manera, cada rueda del automóvil representa una de las claves, las cuales se describen a continuación.

Mantenimiento/Reparación oportuna: Un Sistema de Control de Ventilación corresponde a un programa que se encarga de gestionar de manera automática o semiautomática los activos de ventilación en sitio, enviando señales de control a través de una red de telecomunicaciones disponible desde las Salas de Control hacia los activos en sitio. Si bien este programa podría ayudar a dar indicios de falta de mantenimiento o fallas en alguno de los componentes de este sistema, su foco no es la asignación de recursos y/o monitoreo para realizar estas tareas, es decir, los Sistemas de Control de Ventilación no se hacen cargo del efectivo mantenimiento ni tampoco corresponden a sistemas de gestión de mantenimiento de activos. La reparación, recambio y/o mantenimiento del sistema deben ser oportunos en base a un plan matriz, esto corresponde a una gestión externa y de responsabilidad ajena al sistema de control de ventilación. Este punto será profundizado en la Sección 4.

Filosofía operacional definida adecuadamente: Es importante que el Sistema de Control de Ventilación utilizado se adecúe a las necesidades reales de la operación de la ventilación, las cuales deben ser claramente diseñadas y documentadas en la Filosofía Operacional de Ventilación. A partir de ésta, se basará la Filosofía de Control del Sistema, permitiendo generar desarrollos y programas que se ajusten lo mejor posible a la realidad de la mina, y que las inversiones se realicen de manera paulatina, controlada y estratégica. No se debe invertir en aplicaciones del sistema que no sean realmente utilizadas o que no presenten algún beneficio importante para la operación de la ventilación, producción o seguridad.

Gestión del cambio: Para que los Sistemas de Control de Ventilación operen de buena manera, incluso en aquellos con un nivel de automatización avanzado, es necesario que la organización esté 100% comprometida con la implementación del sistema y los cambios en la forma de hacer las cosas que ello pueda implicar. Esto debe ser apoyado desde la gerencia y a través de un equipo multidisciplinario que ponga suficientes esfuerzos para que los trabajadores y usuarios del sistema lo hagan parte de su trabajo cotidiano y responsabilidad, siguiendo los procedimientos que sean necesarios de establecer y tomando el rol que se espera que corresponda a cada persona involucrada. Es necesaria la generación de material de apoyo, coaching, entrenamiento, difusión, y todo aquello que esté a mano de la administración para integrar este sistema a los procesos productivos de la División.

Continuidad operacional: Si bien el presente estudio se ha realizado para un parque y áreas de ventilación bien delimitados, se debe tener presente que el sistema se irá extendiendo hacia nuevas áreas productivas al tiempo que se extingan sectores antiguos, de tal manera de conservar o modificar los beneficios esperados en función del crecimiento de la mina. Para esto es necesario que con cada expansión de la mina se conserve el estándar de automatización y control de la ventilación, ya que de no ser así, los beneficios se irán perdiendo poco a poco con el paso del tiempo.

2 DETERMINACIÓN DEL CRONOGRAMA ESTIMADO PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO Y SUS FASES

A continuación, se explican las tareas a considerar para este proyecto VOD, sus tiempos y recursos. Además, se presenta el programa de ejecución propuesto para la implementación del piloto VOD pala/calle de forma extensiva a todo el parque de 227 ventiladores secundarios de los niveles de producción DET.

2.1 Definición aproximada de periodos de ingeniería, construcción, configuración y puesta en marcha

A través de un piloto, DET ya ha desarrollado e implementado una estrategia de control para sus ventiladores secundarios del nivel de producción. Debido a esto, las ingenierías de factibilidad (estudio trade off) y básica (solución seleccionada) ya no son necesarias, puesto que se ha definido una forma de programar los PLC para controlar los ventiladores secundarios de acuerdo a la filosofía de operación y de control de la ventilación, que permite entregar la funcionalidad requerida a mínimo costo. Si bien existen alternativas de arquitecturas de control que entregan mayor nivel de redundancia y confiabilidad, el alcance de este estudio sólo contempla la extensión del piloto VOD actual a todos los niveles de producción con la arquitectura disponible. La ingeniería de detalles que debe ser realizada incluye desarrollos de software (programación), direccionamientos IP, el desglose de la base de datos del sistema tracking y desarrollos de pantallas y reportes que deben quedar documentados.

Cabe destacar que este proyecto VOD no contempla aspectos de construcción, ya que los activos de ventilación, control y comunicaciones con la sala de control ya son parte del estándar que posee DET actualmente. Además, existen contratos de mantenimiento para estos activos de ventilación y para las arquitecturas de comunicaciones y control.

El cronograma estimado para el desarrollo del proyecto ha sido diseñado con 6 fases de implementación de la programación, los cuales se detallan a continuación:

1. Ingeniería de detalles para los 227 ventiladores secundarios de producción DET (Plan de direccionamiento IP, Interconexión de redes, listado de entradas y salidas, Mapa de memoria PLC, Filosofía de Control en base a input DET) - (2 meses).
2. Desarrollo (Configuración, Integración y Pruebas) y Puesta en Marcha (Comisionamiento) piloto calle completa - (1 mes).
3. Desarrollo (Configuración, Integración y Pruebas) y Puesta en Marcha (Comisionamiento) piloto dos calles completas - (1 mes).
4. Desarrollo (Configuración, Integración y Pruebas) y Puesta en Marcha del resto de los ventiladores secundarios en el nivel de producción - (10 meses).
5. Entrenamiento y Coaching (Capacitación) - (1 mes).

6. Mantenimiento del sistema - (12 meses iniciales y mientras dure la operación VOD).

En base a la experiencia de este equipo de consultores en implementaciones de sistemas VOD, tanto en Chile como en el extranjero, se consideran dos meses de pruebas de pilotos en una y dos calles, debido a que este tipo de piloto extendido permite generar:

- Valiosas lecciones aprendidas con respecto a la implementación y mantenimiento del sistema, los recursos mínimos para mantenerlo funcionando y confirmar las líneas de tiempo en que esto se puede desarrollar de forma realista.
- Curva de aprendizaje para los trabajadores, operadores de pala, mantenedores y operadores de la sala de control, entre otros.
- Mejoras continuas que normalmente permiten acelerar la implementación extendida al resto de los ventiladores secundarios del nivel de producción DET.
- Difusión comunicacional hacia los trabajadores de la nueva tecnología que se va implementar, incluyendo cómo se espera que funcione y qué hacer en caso que no funcione como se espera.
- Desarrollo de procedimientos y protocolos de operación y mantenimiento, así como el entrenamiento de los trabajadores en estos aspectos para una exitosa implementación.

La fase de ingeniería de detalles puede ser realizada en simultáneo con los pilotos extendidos para hacer un mejor uso del tiempo del equipo de implementación y de mantenimiento, los cuales deberán trabajar de forma conjunta durante, al menos, este periodo de dos meses.

El programa es desarrollado considerando dos cuadrillas de trabajo: una de implementación y otra de mantenimiento. La cuadrilla de implementación (4 recursos) considera 1 programador, 1 especialista de redes y 2 montajistas para el tendido de cables. La cuadrilla de mantenimiento, por otro lado, considera 1 programador y 2 aforistas de ventilación.

El desarrollo de este programa se basa en la capacidad, por parte de la cuadrilla de implementación, de generar la ingeniería de detalles para el parque de ventiladores (227) en 2 meses y una implementación del orden de 23 ventiladores por mes, lo que permitirá implementar la flota de ventiladores en 10 meses. Por lo tanto, esta cuadrilla está considerada para los primeros 12 meses de implementación del proyecto VOD, permitiendo dar cobertura al requerimiento de 227 ventiladores secundarios que hacen parte del alcance de este estudio.

Estas 6 fases de implementación deben ser acompañadas por la actividad de mantenimiento de la programación, aforos y gestión de los activos de ventilación desde el inicio del proyecto, para asegurar la disponibilidad operacional del parque de ventiladores secundarios del nivel de producción.

DET ya cuenta con un contrato de reparación de ventiladores y otro contrato para la reparación de las redes de comunicaciones y el control de los ventiladores secundarios de los niveles de producción. El

objetivo de la cuadrilla de mantenimiento VOD será, entre los ya mencionados previamente, gestionar la pronta reparación de activos de ventilación que no funcionen de acuerdo a los requerimientos del proyecto VOD.

Es importante destacar que DET no contempla sensores de flujo en las calles de producción como parte de su proyecto VOD. Por lo tanto, contar con una cuadrilla de 2 aforistas de ventilación es fundamental para medir en terreno la efectiva distribución de flujos en el tiempo, asegurando así el cumplimiento de la filosofía operacional de ventilación de la DET.

2.2 Estructuración de prefactibilidad de plan de proyecto

En base a las fases detalladas en la Sección 2.1, se propone el cronograma de implementación que se presenta en la Figura 2.1. Como se puede observar en este cronograma, con los recursos considerados, en 12 meses se podría extender el piloto VOD inicial a todo el parque de ventiladores secundarios de los niveles de producción DET. Para este cronograma se considera que el desarrollo de los pilotos en una y dos calles puede hacerse en simultáneo con la ingeniería de detalles requerida para toda la flota de ventiladores (227).

Se identifica un número de riesgos que podrían generar desviaciones a este plan, entre los que se encuentran:

- Disponibilidad de programador DET que ha realizado la programación actual de ventiladores secundarios como recurso activo del proyecto, o como capacitador de los programadores que participen en la implementación y mantenimiento del proyecto VOD.
- Disponibilidad de recursos insuficiente para la implementación del proyecto VOD, de acuerdo a lo propuesto en este estudio, lo que impactaría negativamente las líneas de tiempo propuestas en este cronograma.
- Acceso de acuerdo al plan, a las salas de control y sus servidores y estaciones de trabajo para la programación de los PLC que controlan los ventiladores secundarios.
- Gestión y reparación de los activos de ventilación, comunicación y control para que estén disponibles operacionalmente en los tiempos esperados.
- Disponibilidad de suministros críticos para la reparación de ventiladores, sistema de control y red de comunicaciones.

Año	1											
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tareas												
Ing. de detalle para 227 ventiladores secundarios prod. DET	█	█										
Programación y piloto (pala/calle) de una calle completa	█											
Programación y piloto (pala/calle) de 2 calles completa		█										
Desarrollo (pala/calle) de Panel 2 Esmeralda			█									
PeM de Panel 2 Esmeralda			█									
Desarrollo (pala/calle) de Esmeralda				█	█							
PeM de Esmeralda						█						
Desarrollo (pala/calle) de Diablo Regimiento							█					
PeM de Diablo Regimiento								█				
Desarrollo (pala/calle) de RENO-Dacita									█	█		
PeM de RENO-Dacita											█	
Desarrollo (pala/calle) de Pacífico Superior												█
PeM de Pacífico Superior												█
Entrenamiento y Coaching												█
Mantenimiento sistema pala/calle	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Año	2											
Mes	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tareas												
Ing. de detalle para 227 ventiladores secundarios prod. DET												
Programación y piloto (pala/calle) de una calle completa												
Programación y piloto (pala/calle) de 2 calles completa												
Desarrollo (pala/calle) de Panel 2 Esmeralda												
PeM de Panel 2 Esmeralda												
Desarrollo (pala/calle) de Esmeralda												
PeM de Esmeralda												
Desarrollo (pala/calle) de Diablo Regimiento												
PeM de Diablo Regimiento												
Desarrollo (pala/calle) de RENO-Dacita												
PeM de RENO-Dacita												
Desarrollo (pala/calle) de Pacífico Superior												
PeM de Pacífico Superior												
Entrenamiento y Coaching												
Mantenimiento sistema pala/calle	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

Figura 2.1: Cronograma* de implementación proyecto piloto extendido VOD (Producción).
Archivo: E-013, hoja Balance VOD

(*) Nota: El orden sugerido de implementación debe ser modificado de acuerdo a las prioridades DET al momento de desarrollar la ingeniería de detalle.

Si bien se podría considerar que el número de recursos adicionales sugeridos en este estudio es significativo (7 el primer año y 3 a partir del fin de la implementación), en base a la experiencia de este equipo de consultores, es el equipo mínimo para garantizar una implementación exitosa del proyecto VOD DET dentro de las líneas de tiempo estimadas de 1 año. Esta recomendación se enmarca dentro del contexto técnico de continuidad operacional para la producción y salud y seguridad de los trabajadores DET. Desde un punto de vista económico, tal como se detalla en la Sección 3, la inversión adicional sugerida, se ve pagada dentro del primer año de implementación y funcionamiento.

2.3 Descripción de cargo equipo de Integración y Mantenimiento VOD

El proyecto VOD considera el involucramiento de personal clave para la ejecución y mantenimiento de este, adicional al personal actualmente disponible por DET o por contratos con DET. Por ello, es necesario identificar el personal humano clave necesario para asegurar el éxito del proyecto VOD.

A continuación, se ha propuesto una estructura organizacional para la ejecución y mantenimiento de la infraestructura de ventilación indicando los alcances generales y tareas específicas que cada uno debe ejecutar.

Se ha visualizado que la mejor manera de abarcar tareas simultáneas es separando dos grupos de trabajo dedicados a las actividades de **Integración y Mantenimiento**. El recurso humano para la Integración corresponde a una persona dedicada a la programación informática, un analista de redes, dos montajistas y apoyo logístico. Para la actividad de Mantenimiento se requiere un programador informático, dos aforistas y apoyo logístico.

A continuación, en la Figura 2.2 se ha propuesto un organigrama asociado al plan de ejecución del proyecto.

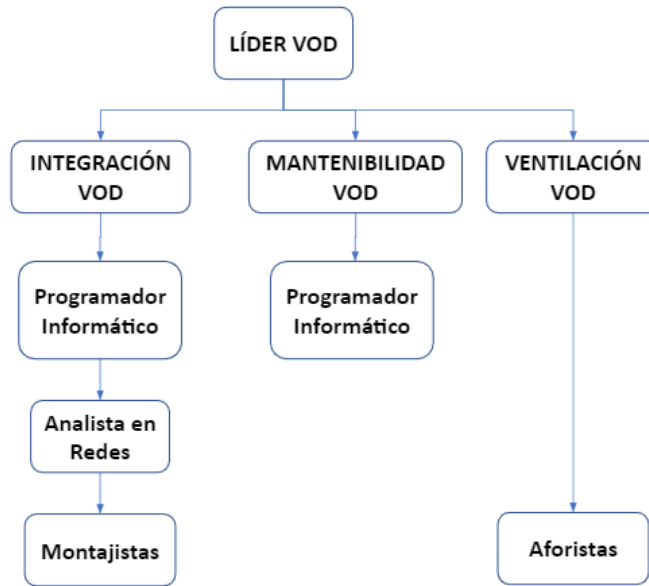


Figura 2.2: Organigrama propuesto proyecto VOD

Líder VOD:

Se refiere a la persona encargada de velar por la correcta integración, operación y mantenimiento del sistema VOD tanto durante la etapa de construcción como la etapa de operación. Se recomienda que el líder VOD tenga a cargo las áreas de Integración y Mantenimiento ya que como es de esperar, a medida que los ventiladores vayan siendo integrados al parque VOD estos requerirán un control, validación y mantenimiento permanente para garantizar su operación.

De igual manera, se recomienda que los aforistas permanezcan bajo el alero del líder VOD como rostro visible o primera línea para validar los resultados del VOD en sitio con reporte directo al líder del proyecto. Se espera que una vez que se finalice la etapa de integración el líder VOD permanezca a cargo de la cuadrilla de aforistas y programadores para estar preparados ante el eventual cambio de configuraciones VOD que podrían surgir dada la expansión intrínseca y cierre de los sectores de producción.

Aforista:

Se refiere a la(s) persona(s) encargada(s) de realizar las labores de mediciones de ventilación en galerías y ventiladores. Las mediciones corresponden a velocidad de aire, diferenciales de presión, temperatura y humedad ambiental y concentración de gases contaminantes, entre otros.

Dentro de las tareas específicas para la implementación exitosa del proyecto VOD, se espera que los Aforistas requeridos realicen las siguientes actividades:

- Validar que los ventiladores sean activados de acuerdo a la entrada y salida de palas de las calles o de personal (mantenimiento periódico del sistema VOD).
- Validar que el sistema VOD Pala-Calle genere los flujos de ventilación esperados en las áreas de trabajo.
- Validar la reparación efectiva de los ventiladores secundarios que han fallado y otros activos de ventilación que impidan la generación de los flujos de acuerdo al plan de ventilación.
- Generar reportes periódicos proveyendo de información a los mantenedores y al área de ingeniería de ventilación para priorizar el orden de las reparaciones asegurando la disponibilidad operacional de los activos de ventilación y su trazabilidad en el tiempo.

Programador:

Se refiere a la(s) persona(s) encargada(s) de realizar la labor de desarrollo e integración de comunicación software/hardware para la ejecución de tareas específicas y generales de la infraestructura VOD. Este profesional estará encargado de la programación de PLCs en las salas de control eléctrica que permita, una vez enlazados los ventiladores secundarios al sistema de control, realizar los arreglos/reparaciones de hardware (cambio de tarjetas controladoras u otros) como de modificación de programa o actualizaciones. Sus competencias deben cumplir con los estándares de programación de PLC y mantenimiento mínimo de hardware, de modo que le permita realizar reparaciones locales, soportado por el actual sistema de mantenimiento de éstos.

Dentro de las tareas específicas para la implementación exitosa del proyecto VOD, se espera que los Programadores requeridos realicen las siguientes actividades:

- Desarrollar alarmas para el operador en caso que los ventiladores de las calles no sean encendidos al ingreso de la pala.
- Desarrollar reportes de compilación de datos de ventiladores que no estén funcionando adecuadamente para gestionar su diagnóstico y reparación. Esta tarea complementa y facilita la labor de los Aforistas de ventilación incluyendo parámetros de diagnóstico que pueda proveer la red de control de los ventiladores.
- Solicitar al especialista en redes la reparación de las comunicaciones entre la sala de control y los ventiladores que dejen de funcionar.
- Mantener y actualizar la programación de los ventiladores activos y de los nuevos ventiladores que sean agregados a las áreas productivas de DET, incluyendo el desarrollo de las pantallas necesarias para la correcta operación. También debe eliminar los ventiladores que sean dados de baja o ya no sean utilizados.
- Desarrollar programación de pantallas para la operación.
- Documentación de la programación realizada.

Especialista en redes:

Se refiere a la(s) persona(s) encargada(s) de realizar las tareas necesarias para asegurar la comunicación continua entre las estaciones PLCs y los activos de ventilación (ventiladores, sensores tag, etc.). Aunque DET cuenta con personal para realizar el mantenimiento de los equipos y sistema de comunicaciones, se realizarán algunas recomendaciones para el mantenimiento operativo del sistema de control de ventiladores secundarios.

Dentro de las tareas se encuentra establecer, diseñar y/o extender los diagramas de comunicaciones con los activos de ventilación, tales como:

- Conversores de fibra óptica;
- Routers;
- UPS y switches.

Se recomienda de igual forma que este profesional pueda abordar las configuraciones de hardware y software (networking) con conocimiento en configuración de equipos.

Montajista en sala:

Se refiere a la(s) persona(s) encargada(s) de realizar las labores de instalación, conexión y expansión de fibra óptica (FO) y dispositivos de redes necesarios para el desarrollo e integración de comunicación software/hardware con los activos de ventilación.

Adicionalmente, se espera que el personal montajista sea un equipo calificado para restaurar fibra óptica y cableado en el caso de cortes u otras reparaciones relacionadas, el cual contará con conocimientos básicos universales en redes y experiencia demostrada.

3 PROYECTO DE INVERSIÓN DE PREFACTIBILIDAD

3.1 Estimación de costos de inversión y operación

Como se explicó anteriormente en la Sección 2, este proyecto VOD no considera construcción adicional a la ya existente, por lo tanto, los costos considerados son exclusivamente de ingeniería de detalles y operación. Se consideran dos cuadrillas para dar cumplimiento a la carga adicional de trabajo que genera el proyecto VOD: una de implementación y una de mantenimiento. La cuadrilla de implementación está integrada por 1 programador, 1 especialista en redes, y 2 montajistas. La cuadrilla de mantenimiento está integrada por 1 programador y 2 aforistas de ventilación.

Se considera que, durante los primeros 12 meses del proyecto, trabajan simultáneamente la cuadrilla de implementación y la de mantenimiento. De esta forma las dos cuadrillas tendrán un costo mensual de 49.000 USD por los primeros 12 meses de implementación del proyecto VOD. Adicionalmente se considera una contingencia de 30%, por lo que el costo mensual de las dos cuadrillas se eleva a 63.000 USD. A partir del mes 13, sólo se considera la cuadrilla de mantenimiento, lo que genera un costo de 21.000 USD mensuales. Incluyendo el 30% de contingencia, el costo mensual de la cuadrilla de mantenimiento se eleva a 27.300 USD.

Esto permite estimar de forma no descontada, el costo de la inversión de los primeros 12 meses en 764.400 USD. A partir del segundo año el costo anual se estima en 327.600 USD.

3.2 Estimación de beneficios por ahorros de energía

El detalle de la estimación de ahorros energéticos debido a la implementación del VOD Pala-Calle en los niveles de producción DET, es de 2.182.115 USD anuales, los que representan 181.843 USD mensuales de acuerdo a la línea base estimada para los ventiladores operativos en el primer Informe de Avance, y el funcionamiento bajo el nivel de control VOD Pala-Calle.

Considerando los pilotos y la ingeniería de detalles de los dos primeros meses, se estima que estos meses no generan ahorro. De la misma forma, para la estimación de ahorros en el tiempo, se considera que el tercer mes del proyecto estaría dedicado a la implementación del primer grupo de ventiladores secundarios, por lo tanto, este mes no generaría ahorros energéticos tampoco.

A partir del cuarto mes se producen ahorros energéticos en base a los ventiladores implementados en el mes anterior, y así sucesivamente. Por lo tanto, los ahorros mensuales estimados a partir del mes cuatro son 1/10 (18.184 USD) del total mensual (181.843 USD). De esta manera, cada mes se agrega 18.184 USD de ahorro mensual estimados hasta completar el ramp up de ahorros en el mes 13. Estos ahorros se incluyen en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1: Estimación de ahorros mensuales proyecto VOD.
Archivo: E-013, hoja Balance VOD.**

Año	1						
Mes	1	2	3	4	5	6	7
Ahorro estimado	0	0	0	18.184	36.369	54.553	72.737
Ahorro energía proporcional al parque implementado	0	0	0	18.184	36.369	54.553	72.737

Año	1					2	
Mes	8	9	10	11	12	13	14
Ahorro estimado	90.921	109.106	127.290	145.474	163.659	181.843	181.843
Ahorro energía proporcional al parque implementado	90.921	109.106	127.290	145.474	163.659	181.843	181.843

3.3 Estructuración de proyecto de inversión y retorno

En base al cronograma de implementación, los recursos considerados en la Sección 2 de este informe y la estimación de costos y ahorros, se estima el flujo de caja que debería producir el proyecto VOD Pala-Calle de ventiladores secundarios del nivel de producción, el cual se presenta en la Tabla 3.2.

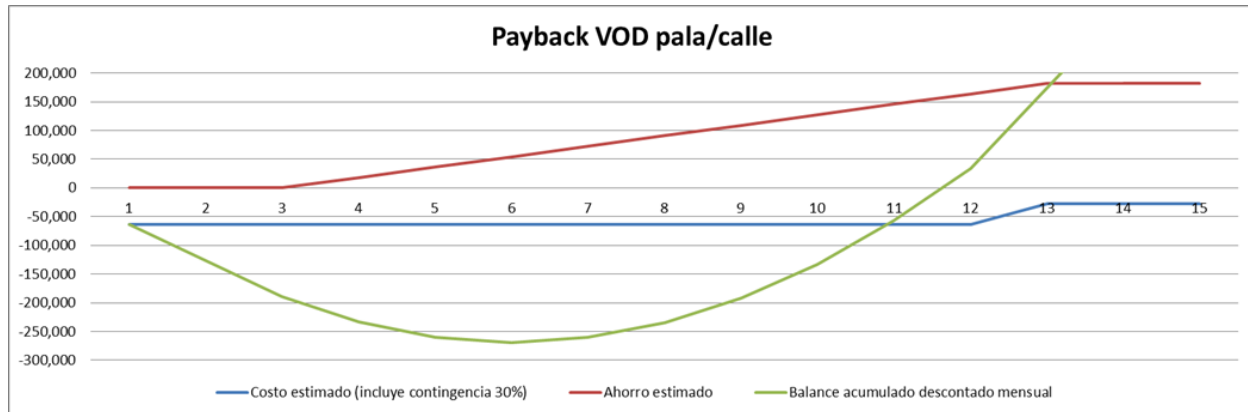
Tabla 3.2: Flujo de caja, primeros 15 meses de implementación. Archivo: E-013, hoja Balance VOD

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8
Costo estimado (incluye contingencia 30%)	-63.700	-63.700	-63.700	-63.700	-63.700	-63.700	-63.700	-63.700
Cost. programación inicial	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000	28.000
Mantenimiento	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000
Ahorro estimado	0	0	0	18.184	36.369	54.553	72.737	90.921
Ahorro energía proporcional a parque implementado	0	0	0	18.184	36.369	54.553	72.737	90.921
Balance (ahorro - costo)	-63.700	-63.700	-63.700	-45.516	-27.331	-9.147	9.037	27.221
Factor de descuento mensual	1,000	0,992	0,984	0,976	0,969	0,961	0,953	0,946
Balance desc. mensual	-63.700	-63.196	-62.696	-44.444	-26.477	-8.791	8.617	25.749
Balance acumulado descontado mensual	-63.700	-126.896	-189.592	-234.036	-260.513	-269.304	-260.687	-234.938

Mes	9	10	11	12	13	14	15
Costo estimado (incluye contingencia 30%)	-63.700	-63.700	-63.700	-63.700	-27.300	-27.300	-27.300
Cost. programación inicial	28.000	28.000	28.000	28.000	0	0	0
Mantenimiento	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000
Ahorro estimado	109.106	127.290	145.474	163.659	181.843	181.843	181.843
Ahorro energía proporcional a parque implementado	109.106	127.290	145.474	163.659	181.843	181.843	181.843
Balance (ahorro - costo)	45.406	63.590	81.774	99.959	154.543	154.543	154.543
Factor de descuento mensual	0,938	0,931	0,924	0,916	0,909	0,902	0,895
Balance desc. mensual	42.610	59.203	75.531	91.596	140.494	139.382	138.279
Balance acumulado descontado mensual	-192.328	-133.124	-57.594	34.002	174.496	313.878	452.157

La Tabla 3.2 detalla el flujo de caja del proyecto durante sus primeros 15 meses de implementación. El payback de la inversión inicial anual de 764.400 USD es de 12 meses. El flujo de caja es realizado considerando una tasa de **descuento anual del 10%** y una **contingencia del 30%**. Es importante tener presente que durante los tres primeros meses el proyecto no genera ahorros y que el total de los ahorros no se obtiene hasta el mes 13, por lo tanto, generar un payback al mes 12 es un resultado muy alentador.

La Figura 3.1 muestra de forma gráfica que en el mes 12 el proyecto VOD alcanza un valor descontado acumulado positivo. También se puede observar claramente cómo el régimen de ahorros se alcanza en el mes 13, así como se reduce el costo al contar sólo con la cuadrilla de mantenimiento a partir de ese mes. El balance acumulado descontado mensual no se grafica más allá del mes 13 ya que alcanza rápidamente valores muy superiores a los costos mensuales.



**Figura 3.1: Estimación de payback del proyecto piloto extendido VOD (Producción).
Archivo: E-013, hoja Balance VOD.**

3.4 Estimación de mejoras ambientales - OHS

Se espera lograr una distribución apropiada de los caudales de aire, debido a que los ventiladores ya no competirán entre ellos por el aire y que se tendrá la cuadrilla de aforistas que supervisen la correcta distribución de flujos de forma frecuente. Esto permitirá validar que los ventiladores alcancen el punto de operación estimado en el diseño de ingeniería de ventilación, así logrando la mejor dilución y barrido posible de los contaminantes. Por ahora, con la información disponible no es posible determinar cambios exactos en las condiciones ambientales, pero en un futuro se podrían estimar cuantitativamente las mejoras ambientales de la implementación del control Pala-Calle para el VOD del nivel de producción.

De la misma forma, sí es posible estimar cualitativamente las mejoras ambientales que este proyecto tendrá en dos dimensiones, ya que se contará con mejor información del estado de funcionamiento de los ventiladores y de forma más oportuna, para reaccionar ante cualquier falla.

Por ejemplo, el coordinador apoyado por el sistema de control dará encendido a los ventiladores cuando los trabajadores o las palas entren a las calles de producción. El sistema de control permitirá la generación opcional de alarmas y reportes de ventiladores no funcionales. Esto permitirá que los ventiladores, comunicaciones y control sean reparados de acuerdo a la necesidad y de forma oportuna. Por otro lado, el sistema de control permitirá que el controlador del sistema pueda validar que los ventiladores de una calle funcionan antes de asignar una pala. Así mismo, el controlador podría reasignar una pala a otra calle si el sistema de ventilación deja de funcionar de forma correcta en la calle donde estaba operando la pala.

Es esperable que la implementación del sistema de control de ventilación mejore las condiciones ambientales a la que son expuestos los trabajadores en la medida que la información que el VOD provea sea utilizada para hacer una mejor gestión y más rápida de los activos de ventilación.

4 PLAN DE MANTENIMIENTO TÍPICO DE SISTEMAS DE CONTROL DE VENTILACIÓN

4.1 Descripción y alcances

Tal como se menciona y se describe en el Informe de Avance, el sistema sugerido para implementar el sistema VOD está orientado a la estrategia de control Pala-Calle. Actualmente, el funcionamiento del parque de ventilación secundaria hace uso de los activos de la DET, a través de los sistemas de comunicaciones y control, los que obedecen a un mantenimiento vigente y son mostrados en la Tabla 4.1, correspondiente al Archivo E-011 “Consultas para DET – Informe 2”, hoja Tabla de mantenimiento. El principal componente que incorporaría el VOD es la programación adicional sobre los PLC para el control Pala-Calle, cuyo ítem de mantenimiento está asociado a la vigilancia de su correcto funcionamiento. Otro componente corresponde al computador ubicado en la sala CIO para el monitoreo de los ventiladores secundarios en forma centralizada.

Los requerimientos de mantenimiento del Sistema de Control de Ventilación Secundaria (o Ventilación por Demanda –VOD-) son fundamentales para el correcto funcionamiento y confiabilidad del sistema para entregar los ahorros comprometidos y dar cumplimiento a la Filosofía Operacional de Ventilación de la DET. Hoy en día, el mantenimiento de los sistemas de comunicación, control y operación corresponde al servicio que una empresa externa a la DET debe realizar. Este mantenimiento debe ser preciso y riguroso para conservar la disponibilidad operacional de los ventiladores secundarios. En términos generales, esta sección describe las condiciones y requerimientos necesarios para el mantenimiento del sistema.

Como alcance general, se descarta el mantenimiento de sensores de flujo, gases, temperatura y humedad relativa al no ser considerados como parte de alcance del sistema de control de la ventilación secundaria Pala-Calle definido en el piloto VOD DET.

El mantenimiento debe contemplar la totalidad del parque de ventiladores y sus componentes de control y comunicaciones, ya que estos tienen un comportamiento dinámico en términos de su condición operacional, lo cual vuelve necesario tener la disponibilidad de control en cualquier ventilador, independiente de su estado, pues éste podría ser requerido de un momento a otro, por lo que es conveniente tener todos los servicios listos para integrarlo nuevamente a la operación.

4.2 Componentes del sistema VOD para el mantenimiento

Las componentes del sistema VOD que deben ser mantenidas: el **ítem** o activo, el **tipo** (si es hardware, software o ambos), su **ubicación física** dentro de la mina, **responsabilidad de mantenimiento** (actualmente corresponden a DET a través de un contrato de mantenimiento con empresas externas), o bien si es “**Adicional por VOD**” que debe ser incorporado dentro de los contratos de mantenimiento, el **rol** o actividad que desempeña el activo, su **nivel de criticidad** (se define en la siguiente sección), la **frecuencia de mantenimiento** en el tiempo, y el **mantenimiento recomendado** a realizar (qué intervenciones específicas deberán realizarse) y **observaciones y comentarios** importantes a tener en cuenta. A su vez, los ítems se agrupan de acuerdo con el área de mantenimiento o soporte correspondiente, como son “Comunicaciones”, “Automatización y Control”, y “Ventiladores y Potencia/Energía”.

4.2.1 Niveles de criticidad

Los niveles de criticidad suelen clasificarse de la siguiente manera:

- Criticidad Baja: No existe compromiso en la operación, producción y/o seguridad del sistema.
- Criticidad Media: Existe compromiso en la operación, producción y/o seguridad del sistema, pero puede ser suplido por algún método alternativo que permita continuar con la operación en términos generales y dependiendo de la localización de la falla. Se puede recurrir a operaciones de tipo local/manual con carácter temporal, esperando el restablecimiento del componente a la brevedad.
- Criticidad Alta: El compromiso en la operación, producción y/o seguridad del sistema es serio, la falla imposibilita parcial o totalmente la operación del sistema. Sin embargo, se puede recurrir a operaciones de tipo local/manual con carácter temporal, esperando el restablecimiento del componente a la brevedad.

4.2.2 Hardware de comunicaciones y controladores

En la DET, el hardware de comunicaciones está constituido principalmente por componentes como servidores, switches de comunicaciones, routers, racks de conversores, fibra óptica y cable de control, mientras que el hardware de control corresponde principalmente a los PLC que están ubicados en cada una de las salas de eléctricas de los cruzados de ventilación correspondientes y estaciones de operación en cada sala de control de cada mina en estudio. De acuerdo al rol que estos componentes cumplen en la operación del sistema, existen diferentes niveles de criticidad de mantenimiento o repuesto que deben ser considerados a la hora de determinar el impacto que tiene la posibilidad de perder la operación de alguno de ellos.

4.2.3 Activos de ventilación

Los activos de ventilación están constituidos por ventiladores de inyección y extracción (223 de 60 HP y 4 de 80 HP) -ver Tabla 2.1 del “Informe de Avance”-, sensores (medidores de amperaje), partidores y cables de energía. Los ventiladores son alimentados desde las salas eléctricas a través de los cables alimentadores, pero accionados por el correspondiente PLC que permite su energización de acuerdo al estado en el que se encuentre (remoto/local) y del sistema de comunicaciones. No se considera la infraestructura correspondiente al Subnivel de Ventilación tales como las mismas galerías, los frontones de ventilación y su obra civil, chimenea de ventilación o frontón de ventilación en el nivel de producción.

4.2.4 Suministros y logística

Se debe contar con stock disponible de suministros para recambio de partes y piezas críticas para el restablecimiento de servicios en el menor tiempo posible. Este stock debe abarcar al sistema de comunicaciones y control con sus respectivos switch de comunicaciones, convertidores de FO, routers, servidores/computadores, cables de comunicaciones, fibra óptica, tarjetas de controladores, entre otros; así como ventiladores (partes y piezas críticas como motores y aspas), sensores (medidores de amperaje), partidores y cables de energía. Por otra parte, debe haber una disposición de contingente perteneciente al actual sistema de mantenimiento que pueda, eventualmente, prestar apoyo al personal dedicado a VOD. Otra forma de contemplar al personal dedicado al VOD es que sea parte del contingente actual, pero con personal dedicado exclusivamente al mantenimiento del VOD.

Se debe mantener un suministro de componentes críticos de acuerdo con la periodicidad de mantenimiento y nivel de criticidad. Es decir, si el ítem tiene una alta criticidad, evaluar disponer de suministros (hardware/software) en caso de falla. Por otra parte, se recomienda realizar un levantamiento y análisis de la frecuencia de recambios de componentes para tener una cifra más precisa del suministro necesario.

La logística debe comprender al personal a cargo de la implementación y mantenimiento, quienes deben contar con todos los permisos correspondientes, como por ejemplo para ingresar a salas eléctricas, certificar fibra óptica, para realizar pruebas en los ventiladores locales o remotamente, entre otros. Del mismo modo, el personal deberá contar con los cursos correspondientes exigidos por DET para el ingreso, seguridad, certificación de competencias, entre otros. Por otra parte, el personal deberá contar con acceso a equipos de levante si se requiere, además de contar con equipo para el transporte del personal y sus herramientas, materiales y suministros. Estas deben venir incluidas en los contratos de mantenimiento ya sea actuales o proyectados a partir de nuevas componentes del sistema VOD.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

División El Teniente cuenta con toda la infraestructura y conocimientos necesarios para la implementación de un sistema de control de ventilación (VOD), lo que la posiciona en un lugar privilegiado con respecto a otros referentes a nivel mundial, que han debido realizar fuertes inversiones y proyectos de construcción de al menos un par de años. Además, la gran extensión de sus sectores productivos le otorga una muy buena proyección de beneficios económicos en torno a los ahorros de energía mediante el uso eficiente del recurso aire dentro de la mina subterránea, como también algunos en relación con el mantenimiento y la salud ocupacional de los trabajadores.

Para lograr una adecuada implementación y operación del sistema VOD, División El Teniente deberá destinar recursos dedicados para el desarrollo de una breve ingeniería de detalles y la ejecución de las tareas de configuración y desarrollos necesarios para controlar y automatizar los sistemas de ventilación, así como también a algunas tareas de mantenimiento que otorguen la confiabilidad suficiente al sistema.

Dado el proyecto piloto ya efectuado, la actual filosofía operacional de ventilación que rige y la infraestructura disponible, la mejor estrategia de control que puede la DET implementar corresponde a la estrategia de control automática pala-calle con operación semiautomática en calles con actividades secundarias. Esto permitiría la activación automática de ventiladores en función de la calle en la que se encuentre el equipo LHD y la activación semiautomática de ventiladores según la ubicación del personal de apoyo. Este nivel de implementación es el más acertado dadas las condiciones, pero también pensando en que es mejor plan una implementación escalonada y estratégica, que permita captar ahorros de energía rápidamente e ir incrementando el nivel de complejidad paso a paso, en la medida que el concepto se vaya arraigando en las operaciones y sus costos sean distribuidos en el tiempo en vez de hacer un gran desembolso al inicio. Esto debería dar pie a generar lecciones aprendidas, afinar la filosofía operacional, invertir en nuevas y frescas tecnologías, y ajustar un nuevo plan matriz de mantenimiento.

El proyecto de VOD considerado requiere una inversión inicial de 764.400 USD el primer año para la implementación de la programación del control pala/calle. A partir del segundo año se requiere sustentar un costo de mantenimiento estimado en 327.600 USD.

Teniendo en cuenta el ramp up de ahorros que se observa durante el primer año hasta completar el control semiautónomo de los ventiladores del nivel de producción, el proyecto se paga en el mes 12 de implementación. Esto hace que el proyecto sea muy atractivo para su pronta implementación debido a que el capital de inversión limitado y su pronto retorno de la inversión.

Una vez implementado el control pala/calle en todos los ventiladores del nivel de producción, se espera un ahorro por sobre los 2.000.000 USD anuales.

El mantenimiento en los plazos y recursos del sistema de control de la ventilación secundaria de producción (VOD) es fundamental para el correcto funcionamiento del sistema, su confiabilidad y la rentabilidad proyectada. Asimismo, tanto la logística como los suministros deben ser planificados y sustentados en forma continua de manera de cumplir cabalmente, apuntando a un mantenimiento principalmente preventivo. Los perfiles técnicos del personal de mantenimiento deben ser rigurosos, de manera de mantener un alto estándar de trabajo en el mantenimiento del sistema.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda proceder a la implementación del VOD Pala-Calle para el nivel de producción de las minas consideradas, en base al cronograma, estimación de ahorros y costos y al payback de 12 meses. Esta recomendación de implementación es válida considerando el nivel de producción de cada mina por separado o en conjunto.

Adicionalmente, se recomienda realizar dos pruebas piloto, la primera para una calle completa y la segunda para dos calles completas antes de escalar el piloto a la mina completa, las que se pueden realizar en paralelo a la ingeniería de detalles necesaria para la implementación del parque de 227 ventiladores secundarios de los niveles de producción.

Se recomienda asignar un jefe de disciplina que lidere y gestione la implementación del VOD y permita coordinar a nivel de ingeniería y operaciones la ejecución en tiempo según la programación propuesta. Se recomienda de la misma forma el “empoderamiento” de este profesional para que pueda tener injerencia y apoyo cruzado de coordinación sobre otras disciplinas.

Se recomienda generar un reporte del funcionamiento y costo energético de los ventiladores que permita estimar el consumo de energía eléctrica real en el tiempo, para así estimar el ahorro energético y su costo respectivamente. Alternativamente, se pueden implementar medidores de energía en las salas eléctricas de los ventiladores secundarios, sin embargo, el reporte anteriormente propuesto es una alternativa más simple, de menor costo y con la posibilidad de ser calibrado para que entregue datos ajustados a la operación DET. Este informe de funcionamiento también puede ser utilizado como una efectiva herramienta para la gestión de activos de la ventilación y para producir KPIs que permitan hacer un seguimiento en el tiempo de la disponibilidad de los ventiladores y de los ahorros obtenidos.

Para la siguiente etapa de ingeniería se recomienda desarrollar el plan de mantenimiento con un mayor grado de detalles, de modo que queden definidos específicamente los cargos, roles y responsabilidades, así como el plan de mantenimiento en detalle por cada ítem/activo, plan de suministros y logística, de acuerdo con su grado de criticidad.

Estudios futuros

A partir del trabajo realizado en este estudio se recomienda considerar la realización de los siguientes proyectos en un futuro cercano:

1. Estudio VOD de pre-factibilidad para ventiladores principales de la mina el Teniente.
2. Estudio VOD de pre-factibilidad para ventiladores secundarios Pala-Calle considerando el control por tramos en vez de la calle completa, e implementación de sistema de tracking para personal realizando actividades secundarias en niveles de producción.
3. Estudio VOD de pre-factibilidad para el resto de los ventiladores secundarios activos de la mina el Teniente.

Estos estudios se indican en el orden de prioridad que se recomienda ejecutarlos, debido al potencial de ahorros que ofrecen respectivamente.