



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**Análisis y diseño del sistema de ventilación para el
proyecto Greenfield terronera, Mexico – 2023**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

AUTOR

Aldo Enrique ALVAREZ SALVADOR

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Alvarez, A. (2025). *Analisis y diseño del sistema de ventilación para el proyecto Greenfield terronera, Mexico – 2023*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Aldo Enrique Alvarez Salvador
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47425989
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0000-4557-8066
Datos de asesor	
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Alejandro Mena Ayala
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10451517
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Carlos Enrique Rodríguez Vigo
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	21555151
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Ernesto Sabino López Pomareda
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09152241
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.3.22 Ingeniería de software
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Surco (Santiago de Surco) Latitud: -12.109801 Longitud: -76.977659

Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023 – 2024
URL de disciplinas OCDE	Minería, Procesamiento de minerales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

En el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el martes 29 de abril de 2025, siendo las 15:00 horas en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Dr. ALEJANDRO MENA AYALA	Presidente
Mg. ERNESTO SABINO LOPEZ POMAREDA	Miembro
Mg. CARLOS ENRIQUE RODRIGUEZ VIGO	Miembro

Reunidos para el Acto Académico Público de la Sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional titulada: «**ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL PROYECTO GREENFIELD TERRONERA, MEXICO - 2023**», presentada por Don: **ALDO ENRIQUE ALVAREZ SALVADOR**, Bachiller en Ingeniería de Minas, para la obtención del Título Profesional de Ingeniero de Minas.

Los miembros del Jurado Calificador, escuchada la sustentación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

.....Satisfacción del Jurado.....

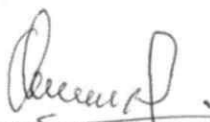
Concluida la Sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, el Jurado procedió a evaluar y calificar según el reglamento vigente, cuyo resultado fue la nota de:

.....Aprobado (15).....

Habiendo sido aprobada la Sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional por el Jurado Calificador, el Presidente del Jurado recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS** a Don: **ALDO ENRIQUE ALVAREZ SALVADOR**.

Siendo las ...3:45pm...horas, se dio por concluido el acto académico, expidiéndose (6) Actas Originales del Trabajo de Suficiencia Profesional .

Lima, 29 de abril de 2025


Dr. ALEJANDRO MENA AYALA
Presidente


Mg. ERNESTO SABINO LOPEZ POMAREDA
Miembro


Mg. CARLOS ENRIQUE RODRIGUEZ VIGO
Miembro



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Jesús Alberto Torres Guerra en mi condición de Director de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, afirmo que el Trabajo de Suficiencia Profesional, cuyo título es: "ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL PROYECTO GREENFIELD TERRONERA, MÉXICO - 2023", presentado por el Bachiller ALDO ENRIQUE ALVAREZ SALVADOR para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 8% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Lima, 23 de mayo de 2025

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del director: **Dr. Jesús Alberto Torres Guerra**

DNI: 07219691

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

DEDICATORIA:

A mis padres, ARTEMIA y TEODORO, por acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser una mejor persona y profesional.

También se la dedico a mi abuela RICARDINA, desde el cielo eres esa luz que me daba fuerzas para continuar.

A mis hermanas VANESSA y BIANCA por todo su apoyo incondicional, ya que me hacían reaccionar cuando pensaba que no podía continuar.

Resumen

En la minería subterránea en el Perú y a nivel mundial se cuenta con diversos desafíos, ya que al encontrarse en constante desarrollo se genera un mayor uso de explosivos y adquisición de equipos a combustión diésel para cumplir con la producción de mineral, por lo que se necesita un adecuado sistema de ventilación. Por ello, para dar soluciones óptimas a los problemas de ventilación, como por ejemplo la construcción de un Raise Boring o implementación de ventiladores en puntos estratégicos, se utiliza el software para definir los circuitos que va a tener la mina y que proyectos podrían mejorar la calidad del aire.

Se realizó el estudio y diseño del sistema de ventilación de la mina La Terronera (ENDEAVOUR SILVER CORP), donde se efectuó un modelo tridimensional bajo la normativa técnica y legal de la República Mexicana. Sin embargo, se solicitó utilizar la norma de ventilación canadiense para el cálculo de caudales de aire con flota diésel en las diferentes etapas de diseño de la mina.

Se han identificado cuatro (04) etapas principales que muestran distintos momentos de la vida de la mina “La Terronera”. Además, se han considerado nueve (09) Etapas Previas a la Etapa principal 01 (Preparación) que tienen como objetivo mostrar los desarrollos tempranos de construcción de la mina y sus respectivos requerimientos de ventilación.

Las conclusiones y recomendaciones del estudio cubren, principalmente, los resultados económicos del CAPEX y OPEX del sistema de ventilación que serán requeridos a lo largo de la vida de la mina, la cual se estiman en 10 años.

Palabras clave / Keyword: Ventilación; Circuitos de ventilación; Ventiladores; Ventilación Principal; Ventilación Secundaria

INDICE GENERAL

I.	Introducción.....	1
II.	Información del lugar donde se desarrolló la actividad	2
2.1.	Institución donde se desarrolló la actividad	2
2.2.	Periodo de duración de la actividad.....	2
2.3.	Finalidad y objetivos de la entidad.....	2
2.4.	Razón social.....	3
2.5.	Dirección postal.....	3
2.6.	Correo electrónico del profesional a cargo	3
III.	Descripción de la actividad	3
3.1.	Organización de la actividad (profesional a cargo)	3
3.2.	Finalidad y objetivos de la actividad	4
3.3.	Problemática	4
3.4.	Metodología. Procedimientos	7
3.5.	Resultados de la actividad.....	11
3.5.1.	Configuración y entrada de parámetros de simulación (Modelamiento).....	11
3.5.2.	Caracterización	12
3.5.3.	Simulación de equipos y transmisión de calor (Calibración)	22
3.5.4.	Resumen de la red y cobertura del sistema por etapas (Simulación)	34
IV.	Conclusiones.....	98
V.	Recomendaciones.....	99
VI.	Referencias bibliográficas	100

VII.	Anexos	101
7.1.	Cálculo de requerimiento de aire según normativa peruana.....	101
7.2.	Análisis Termodinámico	107
7.1.	Simulación de explosivos	111

INDICE DE IMAGENES

Figura 1.	Datos del proyecto Terronera - Endeavour Silver Corp	6
Figura 2.	Instrumentos de medición TESTO	9
Figura 3.	Parámetros Termo ambientales - Mina "La Terronera"	12
Figura 4.	Superficie caracterizada de mina La Terronera.....	13
Figura 5.	Caracterización de ventilador principal de 300 Kcfm en software Ventsim Visual	15
Figura 6.	Identificación de características técnicas del ventilador en simulación Ventsim.	16
Figura 7.	Determinación de tipo de calor emitido según modelo de equipo Diésel.....	23
Figura 8.	Funcionalidad del escenario de calor según características de trabajo del equipo.	24
Figura 9.	Análisis de temperaturas de bulbo húmedo sin equipos trabajando en la rampa de extracción Portal 01	25
Figura 10.	Análisis de temperaturas de bulbo húmedo con 04 volquetes TH545i trabajando en simultaneo en la rampa de extracción Portal 01.....	27
Figura 11.	Análisis de temperaturas de bulbo húmedo sin equipos trabajando	29
Figura 12.	Análisis de temperaturas de bulbo húmedo con un Scoop LH 307 trabajando.	30
Figura 13.	Análisis de temperaturas de bulbo húmedo sin equipos trabajando	32
Figura 14.	Análisis de temperaturas de bulbo húmedo posterior a la utilización de 02 equipos scoop.....	33

Figura 15. Ubicación de niveles de producción, Etapa 1 “La Terronera”	35
Figura 16. Resumen Etapa 01, simulación en Ventsim™ Design 5.4.....	37
Figura 17. Circuito de ventilación, Etapa Principal 2.	38
Figura 18. Resumen Etapa 02, según simulación en Ventsim™ Design 5.4.	40
Figura 19. Circuito de ventilación, Etapa Principal 3.	41
Figura 20. Resumen Etapa 03, según simulación Ventsim™ Design 5.4.....	43
Figura 21. Circuito de ventilación, Etapa Principal 4	44
Figura 22. Resumen Etapa 04, según Ventsim™ Design 5.4.....	46
Figura 23. Parámetros de entrada al simulador de explosivos	49
Figura 24. Resultados de simulación de explosivos en la Rampa portal 1 - Etapa previa 01.	50
Figura 25. Resultados de simulación de explosivos en la Rampa 1 (-) - Etapa previa 01.	51
Figura 26. Resultados de simulación de explosivos en la Rampa 1 (+) - Etapa previa 01.	51
Figura 27. Simulación de explosivos en mina La Terronera anterior al disparo de los frentes	56
Figura 28. Simulación de explosivos en mina La Terronera a 5 minutos posterior al disparo de los frentes.	57
Figura 29. Análisis de variación de frecuencia de 80% y 70% al ventilador principal ubicado en el pozo CV-13.....	66
Figura 30. Análisis de variación de frecuencia de 80% y 70% al ventilador principal ubicado en el pozo CV-16.....	67
Figura 31. Análisis de variación de frecuencia de 50% y 40% al ventilador principal ubicado en el pozo CV-13.....	76
Figura 32. Análisis de variación de frecuencia de 50% y 40% al ventilador principal ubicado en el pozo CV-16.....	77
Figura 33. Codificación de ventiladores	82

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor “K” para labores	18
Tabla 2. Condiciones climáticas proyecto “La Terronera”	18
Tabla 3. Temperaturas de bulbo húmero y seco	19
Tabla 4. Condiciones de la gradiente geotérmica	19
Tabla 5. Listado de propiedades de simulación en la rampa de extracción Portal 1	26
Tabla 6. Listado de propiedades de simulación en la rampa 03 NV 1448	28
Tabla 7. Listado de propiedades de simulación en la rampa 03	31
Tabla 8. Ubicación de niveles de producción de mineral	34
Tabla 9. Cálculo de requerimiento de caudal – Etapa 1 “La Terronera”	36
Tabla 10. Cálculo de requerimiento de caudal – Etapa 2 “La Terronera”.	39
Tabla 11. Cálculo de requerimiento de caudal - Etapa 3 “La Terronera”	42
<i>Tabla 12. Cálculo de requerimiento de caudal - Etapa 4 “La Terronera”.</i>	<i>45</i>
Tabla 13. Cuadro general de análisis de cobertura y balances por etapas principales.....	47
Tabla 14. Resumen de cobertura por etapas principales	48
Tabla 15. Parámetros de simulación de explosivos según tipo de labor	48
Tabla 16. Resumen Etapa Previa 01 - Evacuación de gases	52
Tabla 17. Análisis de tiempo de extracción de los frentes de trabajo y de los puntos de accesibilidad a la labor según etapas.	53
<i>Tabla 18. Tiempo de evacuación - Etapa Principal 1</i>	<i>55</i>
Tabla 19. Tiempos de evacuación de monóxido en pozos de extracción según etapas principales.	61
Tabla 20. Propiedades técnicas de ventiladores según variación de frecuencia	63
Tabla 21. Análisis ventiladores principales.....	69
Tabla 22. Horario de guardia mina "La Terronera"	71

Tabla 23. Horario de guardia mina "La Terronera" - Aplicando variaciones	72
Tabla 24. Análisis ahorro de energía al 80% y 70 de variación de frecuencia	74
Tabla 25. Escenario - Alto impacto	75
Tabla 26. Análisis ventiladores principales.....	79
Tabla 27. Horario de guardia mina "La Terronera" - Aplicando variaciones	79
Tabla 28. Análisis de ahorro de energía con uso de variador de frecuencia para cambios al 50 y 40 %.....	81
Tabla 29. Funcionamiento ventilador COD 01	84
Tabla 30. Funcionamiento ventilador COD 05	84
Tabla 31. Funcionamiento ventilador COD 03	85
<i>Tabla 32. Secuenciación de ventiladores Etapa Previa 4 - Schedule.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 33. Secuenciación de ventiladores Etapa Previa 5 - Schedule.....</i>	<i>87</i>
Tabla 34. Días totales de funcionamiento por cada ventilador – Etapas Previas nueve (09)	88
Tabla 35. Funcionamiento de ventiladores – Por Etapas Principales.....	89
Tabla 36. Cantidad de ventiladores por etapas	90
Tabla 37. Stock/Adquisición de ventiladores por etapas	91
Tabla 38. Costo de inversión por etapas – “La Terronera” Etapas Previas.	94
Tabla 39. Costo de inversión por etapas – “La Terronera” Etapas Principales.....	95
Tabla 40. Costo operativo por etapas – “La Terronera” Etapas Previas.....	96
Tabla 41. Costo operativo por etapas – “La Terronera” Etapas Principales	97
<i>Tabla 42. Resumen costo CAPEX – OPEX.</i>	<i>98</i>

I. Introducción

La ventilación subterránea tiene por misión principal el suministro de aire fresco con el fin de lograr condiciones adecuadas para todo el personal que labore en interior mina, como también para el correcto funcionamiento de diversos equipos a combustión diésel.

El presente documento define los ejes principales constituido por las rampas de profundización y en cuestiones de planeamiento de soluciones según las etapas propuestas para la construcción de la mina, cabe indicar que es un proyecto “Greenfield” y la información conceptual fue proporcionada por parte de ENDEAVOUR SILVER CORP.

La hipótesis general consiste en la realización del análisis y diseño del sistema de ventilación lo cual permitirá alcanzar adecuadas condiciones ambientales en el Proyecto Greenfield Terronera, Mexico – 2023.

Para obtener este resultado se tienen que definir las siguientes hipótesis específicas como:

- 1) Los diseños propuestos en 3D lograrán una mejora en el balance de aire a corto, mediano y largo plazo en el Proyecto Greenfield Terronera, Mexico – 2023.
- 2) El modelo 3D realizado con sus respectivas simulaciones e implementación de la normativa vigente lograrán disminuir los niveles de monóxido de carbono de forma considerable en el Proyecto Greenfield Terronera, Mexico – 2023.
- 3) El modelo 3D realizado en el software VentSIM Design 5.4 otorgará la optimización del sistema de ventilación del Proyecto Greenfield Terronera, Mexico – 2023.

Las hipótesis planteadas están acorde al diseño de investigación que plantea el diseño transversal descriptivo permitirán recolectar datos para describir las variables y analizar las soluciones de modo que se defina el óptimo diseño de ventilación.

II. Información del lugar donde se desarrolló la actividad

2.1. Institución donde se desarrolló la actividad

La institución en la que se realizó la actividad fue a una empresa que necesitaba resolver problemas de ventilación minera cuyo nombre es: ENDEAVOUR SILVER CORP.

2.2. Periodo de duración de la actividad

El análisis del sistema de ventilación para la empresa ENDEAVOUR SILVER CORP fue ejecutado desde el 18 de abril del 2021 al 12 de noviembre del 2022.

Esta actividad se realizó para la posible ejecución por parte de la empresa para fines del año 2023; sin embargo, se aplazó para fines de este año por temas de inversión y planeamiento de otras de sus unidades mineras que se encuentran también en Jalisco – México.

2.3. Finalidad y objetivos de la entidad

ENDEAVOUR SILVER CORP tiene como finalidad lograr soluciones a través de proyectos, cumpliendo los requerimientos y necesidades de los trabajadores. De esta forma mediante una mejora constante convertirse en un productor de primer nivel en la industria minera de plata.

Los principales objetivos de la empresa son:

- Ser un productor de primer nivel en la industria de la minería de plata.
- Satisfacer toda expectativa, ofreciendo un ambiente laboral personalizado y de calidad.
- Fidelizar y afianzar las relaciones a corto y largo plazo, fundando un nuevo Sistema de Ventilación Subterránea y Servicios Generales.

2.4. Razón social

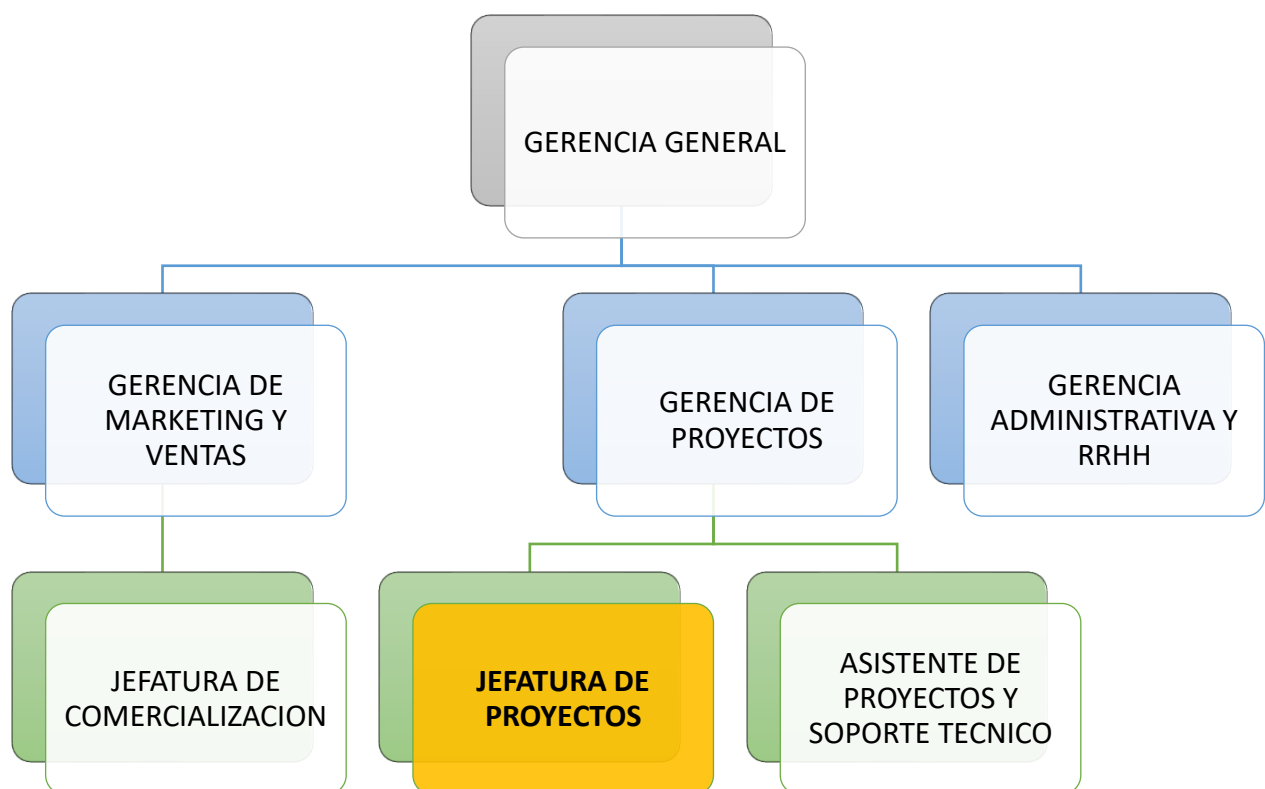
ENDEAVOUR SILVER CORP

2.5. Dirección postal

PO Box 10328 Suite 1130-609 Granville Street, Vancouver, British Columbia

2.6. Correo electrónico del profesional a cargo

Jefe de proyectos: Aldo Alvarez Salvador aldoenri10@gmail.com

III. Descripción de la actividad**3.1. Organización de la actividad (profesional a cargo)**

3.2. Finalidad y objetivos de la actividad

3.2.1. *Objetivo General*

Realizar el análisis y diseño del sistema de ventilación para el Proyecto Greenfield Terronera.

3.2.2. *Objetivos Específicos*

- 1) Realizar el planeamiento a corto, mediano y largo plazo según etapas para optimizar el sistema de ventilación proyectado en el Proyecto Greenfield Terronera.
- 2) Lograr un sistema de ventilación óptimo basado en la regulación establecida con el fin de evitar accidentes ocupacionales ocasionados por el monóxido de carbono (CO) en el Proyecto Greenfield Terronera.
- 3) Elaborar un sistema de ventilación económicamente factible con el uso del software VentSIM 5.4 para el Proyecto Greenfield Terronera.

3.3. Problemática

3.3.1. *Descripción del problema*

El desarrollo del presente trabajo se debe a que la ventilación en las minas es trascendental para continuar con los trabajos en interior mina, ya que esta consiste en el ingreso del aire fresco y la expulsión del aire viciado en la atmósfera.

La problemática en algunas operaciones de la minería subterránea tanto en Canadá y en el mundo es el deficiente sistema de ventilación debido a que los trabajadores se encuentran en constante exposición de agentes peligrosos como polvos, calor, humedad, exposición de gases, incendios y radiación; por lo que el personal necesita trabajar en un ambiente adecuado y seguro.

En la industria minera canadiense se emprende el desarrollo de una normativa práctica para trabajadores y supervisores de primera línea sobre la seguridad y lineamientos adecuados en minería subterránea mediante el uso de la **Normativas mineras de Ontario 854 minas y plantas mineras** la cual plantea lo siguiente:

Respecto a la ventilación de minas, guarda algunas similitudes con la normativa peruana ya conocida, por ejemplo:

- Se debe eliminar los contaminantes en los lugares de trabajo para evitar de esta forma la exposición del trabajador a los mismos.
- Manejo de registros de ventilación: planos, ventiladores, puertas, etc.
- El suministro de aire fresco se realizará cuando se utilice algún equipo (jumbo, bolter) o cuando se detona un explosivo.
- Los trabajadores deben tener acceso a equipos de medición y/o monitoreo de agentes contaminantes.

Debido a que en Canadá la normativa vigente no es tan rigurosa y específica en el tema de ventilación de minas se sugirió que se establezca el análisis del mismo bajo un **marco regulatorio peruano** ya que este si cuenta con todas las especificaciones necesarias para conseguir un ambiente seguro para los trabajadores y equipos.

En el Perú, el Ministerio de Energía y Minas maneja el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. 024-2016-EM y su modificatoria el D.S. 023-2017-EM, que indica el cálculo del requerimiento de aire para el personal, consumo de madera, temperatura, equipos con motor petrolero, como su velocidades mínimas y máximas en las labores mineras; establece los límites máximos permisibles de los diferente agentes contaminantes y la obligatoriedad de contar con equipos e instrumental para su detección, evaluación y la frecuencia de evaluación de sistemas de ventilación. Sin embargo, solo se

utilizará la norma peruana como modelo de cálculo de requerimiento de aire mientras tanto los valores se colocarán bajo las “Normativas mineras de Ontario 854” .

Cabe resaltar que, sumado a lo ya expuesto, la instalación y el mantenimiento adecuados de la ventilación auxiliar son extremadamente importantes para suministrar suficiente cantidad y calidad de aire respirable a las áreas de trabajo de la mina, así como para diluir y eliminar los contaminantes transportados por el aire.

Además, una variedad de factores puede causar que el volumen de aire inadecuado llegue al lugar de trabajo subterráneo. En la mayoría de los casos, el conducto de ventilación está en malas condiciones y la solución es el mantenimiento continuo básico del sistema auxiliar; aunque las actividades de mantenimiento requieren tiempo y recursos, son fundamentales para garantizar un lugar de trabajo seguro y saludable.

ENDEAVOUR SILVER CORP (EDR) con su unidad minera “La Terronera”, ubicada en el estado de Jalisco, México, la cual al momento de iniciar el estudio se encontraba en una etapa “Greenfield” pero según su cronograma de actividades actualmente debería encontrarse en la etapa de Preparación; debido a su alta productividad la demanda de aire fresco será elevada tanto por personal y equipos, como consecuencia se podría generar un déficit en la cobertura aire, por lo que se realizará un diseño en 3D a fin de entregar proyectos que alivien la problemática de la mina si las tuviera a largo plazo.

Figura 1.

Datos del proyecto Terronera - Endeavour Silver Corp.

Producto final	Vida de mina	Metal
Concentrados	10 años	60% Plata 40% Oro
Proceso de la planta	Geología	Producción anual estimada
Planta de flotación con capacidad de 2,000 toneladas por día	Veta epitermal de baja sulfuración	4M oz plata 38K oz oro para 7M oz plata equivalente

3.3.2. Formulación del problema

El problema que se busca resolver es, que el departamento de ventilación no tiene un diseño 3D proyectado que garantice realizar diseños óptimos para contar con la adecuada cantidad (caudal) y calidad (velocidad y dilución de gases contaminantes) de aire en toda la vida de la mina “La Terronera”, siendo necesario realizar el modelamiento, simulación y calibración de la mina La Terronera bajo el software VentSIM Design 5.4 tomando como base estudios previos que se realizaron en el área de Planeamiento.

3.3.3. Problema General

¿De qué manera se realizará el análisis y diseño del sistema de ventilación para el Proyecto Greenfield Terronera, México – 2023?

3.3.4. Problemas específicos

- 1) ¿Los diseños propuestos en 3D permitirán una mejora a largo plazo en el Proyecto Greenfield Terronera, México – 2023?
- 2) ¿La implementación de la normativa y el diseño de ventilación óptimo logra disminuir los niveles de monóxido de carbono (CO) en el Proyecto Greenfield Terronera, México – 2023?
- 3) ¿Cómo influye el diseño del sistema de ventilación con el software VentSIM 5.4 en la reducción de costos del Proyecto Greenfield Terronera, México – 2023?

3.4. Metodología. Procedimientos

3.4.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de indagación es cuantitativo, porque en este estudio se realizará un registro y análisis a los datos proporcionados de su situación actual por Endeavour Silver.

3.4.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada ya que su objetivo es aplicar los conocimientos existentes para resolver un problema concreto.

3.4.3. *Diseño de investigación*

En el presente trabajo no se manipula ninguna de las variables por lo que se considera un estudio no experimental, ya que se observan los fenómenos o acontecimientos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

3.4.4. *Alcance de la investigación*

El alcance de la investigación es de tipo descriptivo debido a que se recopila, analiza y presenta los datos proporcionados por Endeavour Silver Corp y estos a su vez se afianzan con el uso del software VentSIM 5.4.

3.4.5. *Población*

La población está conformada por el proyecto Terronera de Endeavour Silver Corp.

3.4.6. *Muestra*

La muestra es equivalente a la población, y esta está conformada por todo el sistema de ventilación en el proyecto Terronera.

3.4.7. *Metodología para estudios de ventilación*

Las mediciones de flujo generalmente se realizan basadas en la norma “ASHRAE 111; Practices for measurement, testing, adjusting and balancing of building heating, ventilation, Air-conditioning and refrigeration Systems” usando el método de áreas iguales “Method of equal areas”; que se basa en la aproximación del área transversal del túnel a un rectángulo y dividirlo en áreas iguales y en su centro realizar las mediciones de velocidad.

Cuando se realizan estas mediciones en interior mina se divide la labor en 9 cuadrantes de medición (para labores 4x4 m) en los cuales se toman las mediciones correspondientes con los equipos debidamente calibrados, se utilizaron en este caso los pertenecientes a la marca TESTO, ya que estos cuenta con un alto índice de confiabilidad.

Figura 2.

Instrumentos de medición TESTO



En este caso, al ser un estudio “Greenfield” se toman en cuenta los valores recogidos por la misma empresa y en función a estos se ejecuta un análisis especializado para proponer un sistema de ventilación adecuado para corto, mediano y largo plazo.

3.4.8. Metodología para la presentación y análisis de datos

3.4.8.1. Procesamiento de datos

En esta metodología se evaluó la información brindada por ENDEAVOUR SILVER CORP; para luego dar una confiabilidad adecuada utilizando como soporte los siguientes softwares: Microsoft Excel, AutoCAD y VentSIM.

Consta de los siguientes puntos:

- Cuadros descriptivos de datos – Monitoreo en campo.

- Planos en diseño CAD de Puntos de Monitoreo de Ventilación.
- Cuadros descriptivos de Balances de Ventilación.

3.4.8.2. Procedimiento para el diseño de circuitos de ventilación

Durante el proceso de diseño, es importante considerar que cada mina cuente con un circuito de ventilación que suministre aire fresco a las operaciones y lo libere al medio ambiente después de su uso, ya sea de forma natural, forzada o combinada.

El proceso implica dirigir el aire a través de la mina utilizando un diseño de ventilación adecuado para asegurar que el aire fresco llegue a las áreas de operación y que el aire viciado salga sin mezclarse ni crear recirculación.

Es crucial realizar una caracterización precisa de los ventiladores principales y secundarios utilizando la información proporcionada en las fichas técnicas del fabricante, que incluyen las curvas operativas para altitudes desde el nivel del mar hasta su altitud de funcionamiento.

3.4.8.3. Modelamiento y Simulación en VentSIM Design 5.4

La creación del diseño de la mina en el software nos proporcionará un modelo aproximado de la mina, que podrá ser ajustado según parámetros como flujo de aire, presión y/o consumo de energía. La precisión con la que se realice determinará si tendremos un modelo lo suficientemente confiable como para usarlo como referencia al proyectar el sistema de ventilación. Además, permite simular diferentes situaciones en la mina, como cambios a partir de modificaciones en el diseño, evacuación de gases contaminantes y la detección de labores sin ventilación.

A partir de la primera inspección del sistema de ventilación y contando con un número adecuado de ventiladores, se comenzará a diseñar el sistema de ventilación de la mina en el software para crear un modelo preliminar. Este modelo puede ser ajustado en

función de parámetros como el flujo de aire, presión y consumo energético, lo que determinará su precisión y útil.

3.5. Resultados de la actividad

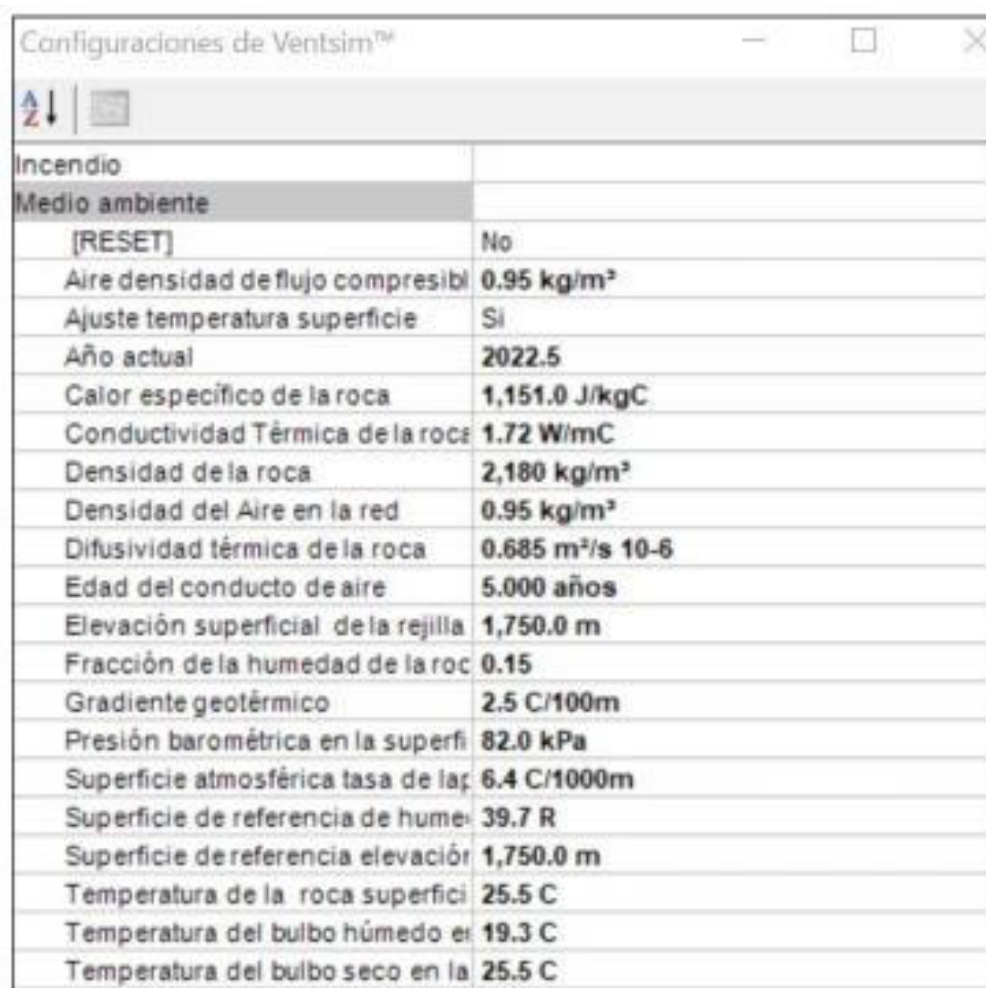
Modelo 3d del sistema de ventilación actual en VentSIM Design™ 5.4

La necesidad de analizar redes de ventilación complejas y la falta de una regulación adecuada en Canadá para la adecuada ventilación en las labores mineras, permitieron optar por una de las herramientas computacionales más avanzadas para realizar el modelamiento, caracterización y obtener un modelo virtual para realizar simulaciones proyectadas de flujo y calor de manera que ayude a proyectar el sistema de ventilación de la mina “La Terronera” a detalle para el planteamiento de alternativas de ventilación y validación de proyectos.

Cabe resaltar que estos planteamientos con el software VentSIM 5.4 se configuraron previamente tomando en cuenta todos los valores considerados en la normativa peruana, como por ejemplo límites máximos permisibles (LMP) tanto para velocidad del aire y gases nocivos, principalmente a los generados por la maquinaria accionada por motores de combustión interna (MMCI) en la mina.

3.5.1. Configuración y entrada de parámetros de simulación (Modelamiento)

La arquitectura del modelo en 3D del sistema de ventilación, aplica data en su base de configuración del software para lograr una máxima similitud de condiciones en función a lo real, debiéndose integrar los parámetros fundamentales de condiciones termo ambientales propios de la mina, los cuales se detallan en la siguiente imagen.

Figura 3.*Parámetros Termo ambientales - Mina "La Terronera"*


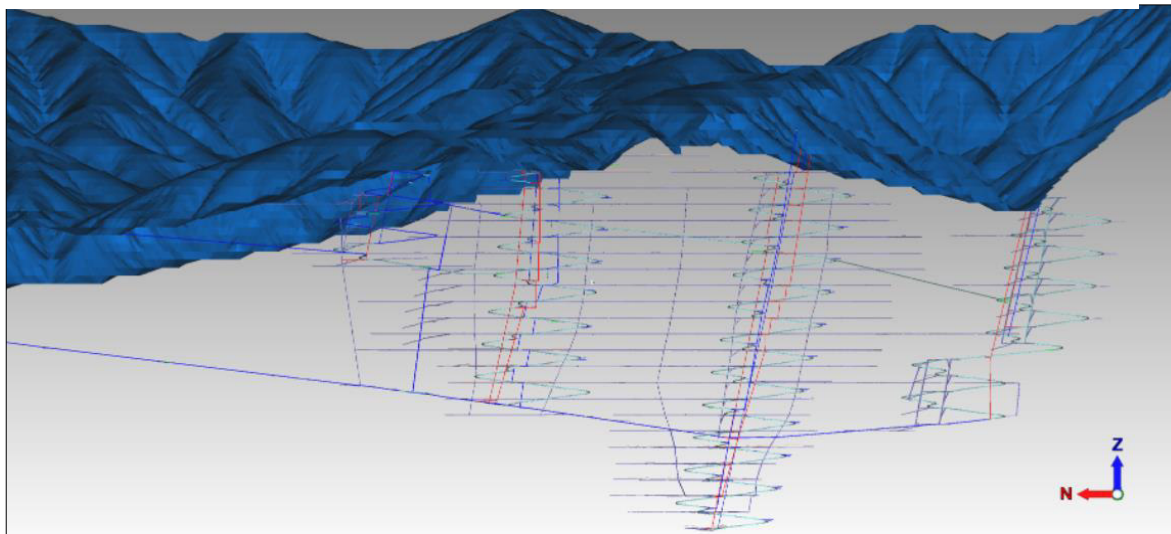
Configuraciones de Ventsim™	
Incendio	
Medio ambiente	
[RESET]	No
Aire densidad de flujo compresibl	0.95 kg/m³
Ajuste temperatura superficie	Si
Año actual	2022.5
Calor específico de la roca	1,151.0 J/kgC
Conductividad Térmica de la roca	1.72 W/mC
Densidad de la roca	2,180 kg/m³
Densidad del Aire en la red	0.95 kg/m³
Difusividad térmica de la roca	0.685 m²/s 10-6
Edad del conducto de aire	5.000 años
Elevación superficial de la rejilla	1,750.0 m
Fracción de la humedad de la roc	0.15
Gradiente geotérmico	2.5 C/100m
Presión barométrica en la superfi	82.0 kPa
Superficie atmosférica tasa de lap	6.4 C/1000m
Superficie de referencia de hume	39.7 R
Superficie de referencia elevación	1,750.0 m
Temperatura de la roca superfici	25.5 C
Temperatura del bulbo húmedo en	19.3 C
Temperatura del bulbo seco en la	25.5 C

Nota. En la figura se toma en cuenta la configuración inicial de los parámetros ambientales, ya que sin esta no se puede llevar a cabo ningún tipo de modelamiento y simulación.

3.5.2. Caracterización

Una parte fundamental de la simulación es la caracterización de la superficie topográfica la cual nos permitirá determinar las longitudes de los proyectos en su distancia hacia superficie.

Para este estudio se ha importado la superficie total de abarque del proyecto La Terronera.

Figura 4.*Superficie caracterizada de mina “La Terronera”*

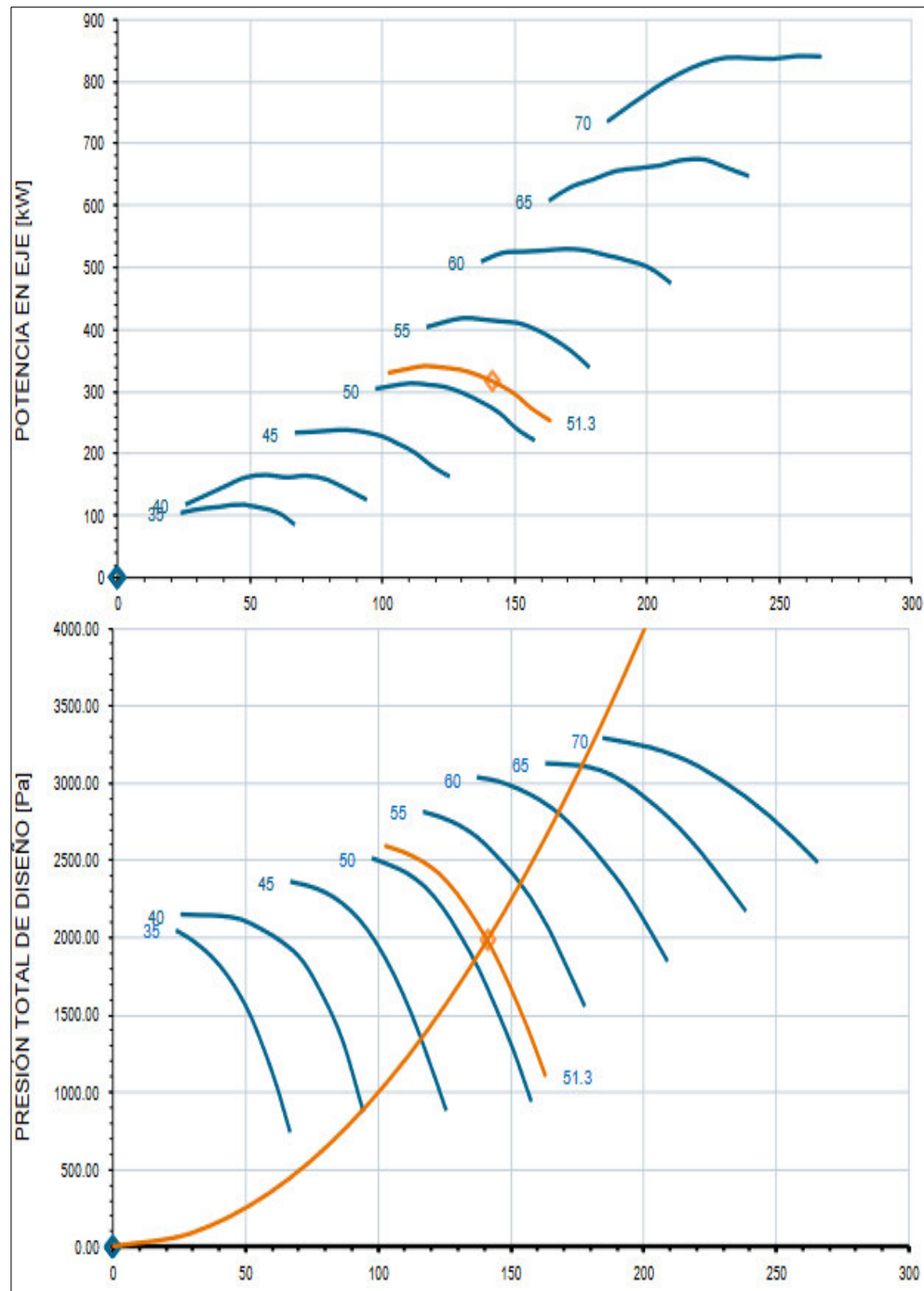
Caracterización de ventiladores

En el sistema de ventilación de la mina “La Terronera” intervienen dos (02) ventiladores principales de 300 Kcfm y dos (02) de 120 Kcfm que evacuan todo el aire viciado hacia superficie, cuales fueron caracterizados manualmente para ser importados al software Ventsim Visual.

A continuación se muestra como ejemplo la caracterización de un ventilador principal de 300 Kcfm de las curvas de ventilación de fábrica proporcionadas por el vendedor Howden y su proceso de caracterización al software Ventsim Visual también características principales de análisis de funcionamiento el caudal en cfm, la presión en in.w.g y la potencia consumida en kW de cada ventilador, asimismo se muestra la curva de funcionamiento de cada tipo de ventilador en el modelo Ventsim según capacidad de caudal detallando datos técnicos propios del punto de funcionamiento como potencia consumida en kW y costo de energía anual en dólares americanos USD.

Gráfico 1.

Curva operativa del ventilador de 300 Kcfm



Nota. En el eje de las abscisas se toma en cuenta el caudal en cfm del ventilador de 300 kcfm para ambos gráficos, de presión y potencia consumida.

Figura 5.

Caracterización de ventilador principal de 300 Kcfm en el software VentSIM 5.4

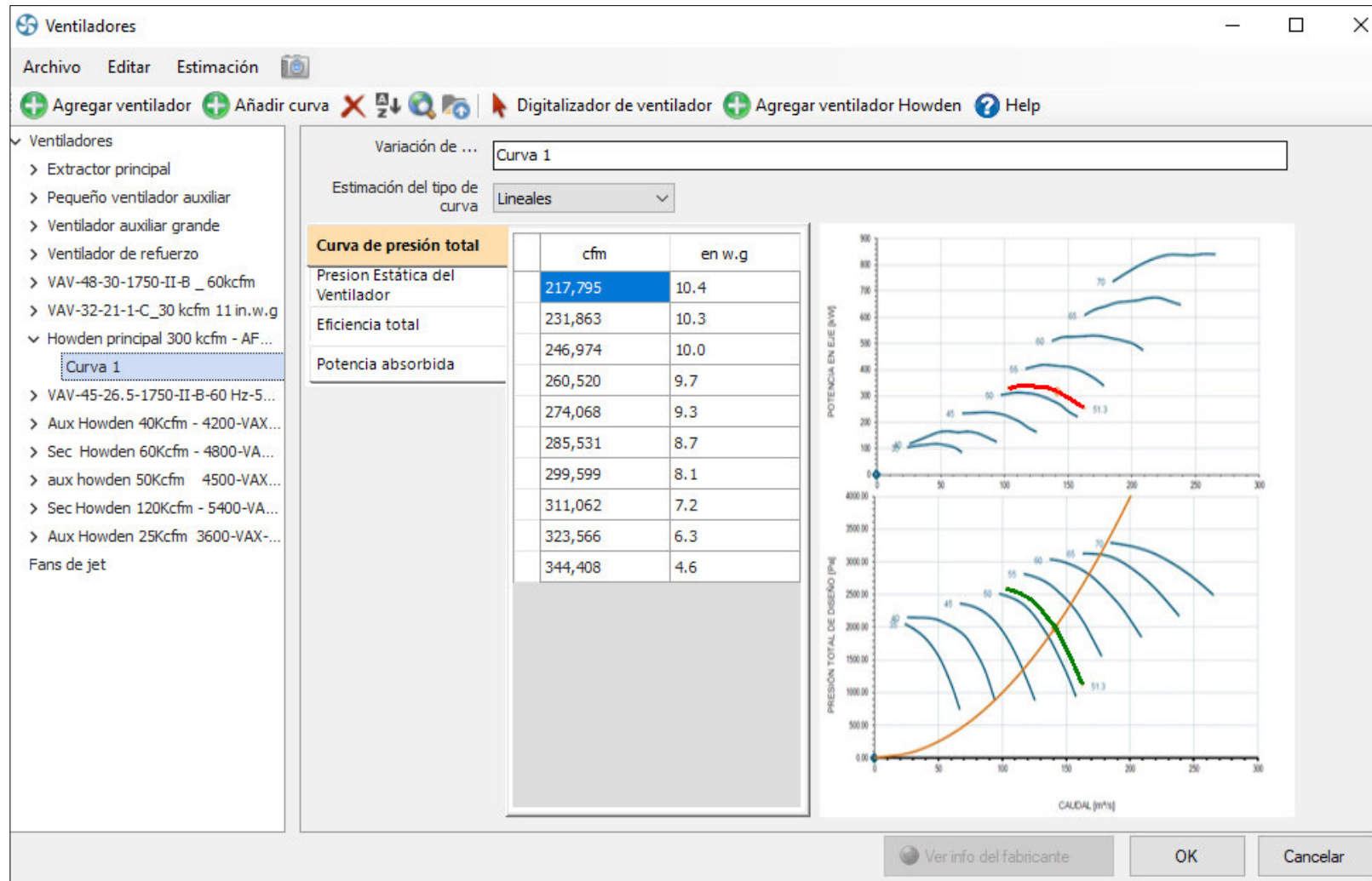


Figura 6.

Identificación de características técnicas del ventilador en simulación Ventsim.

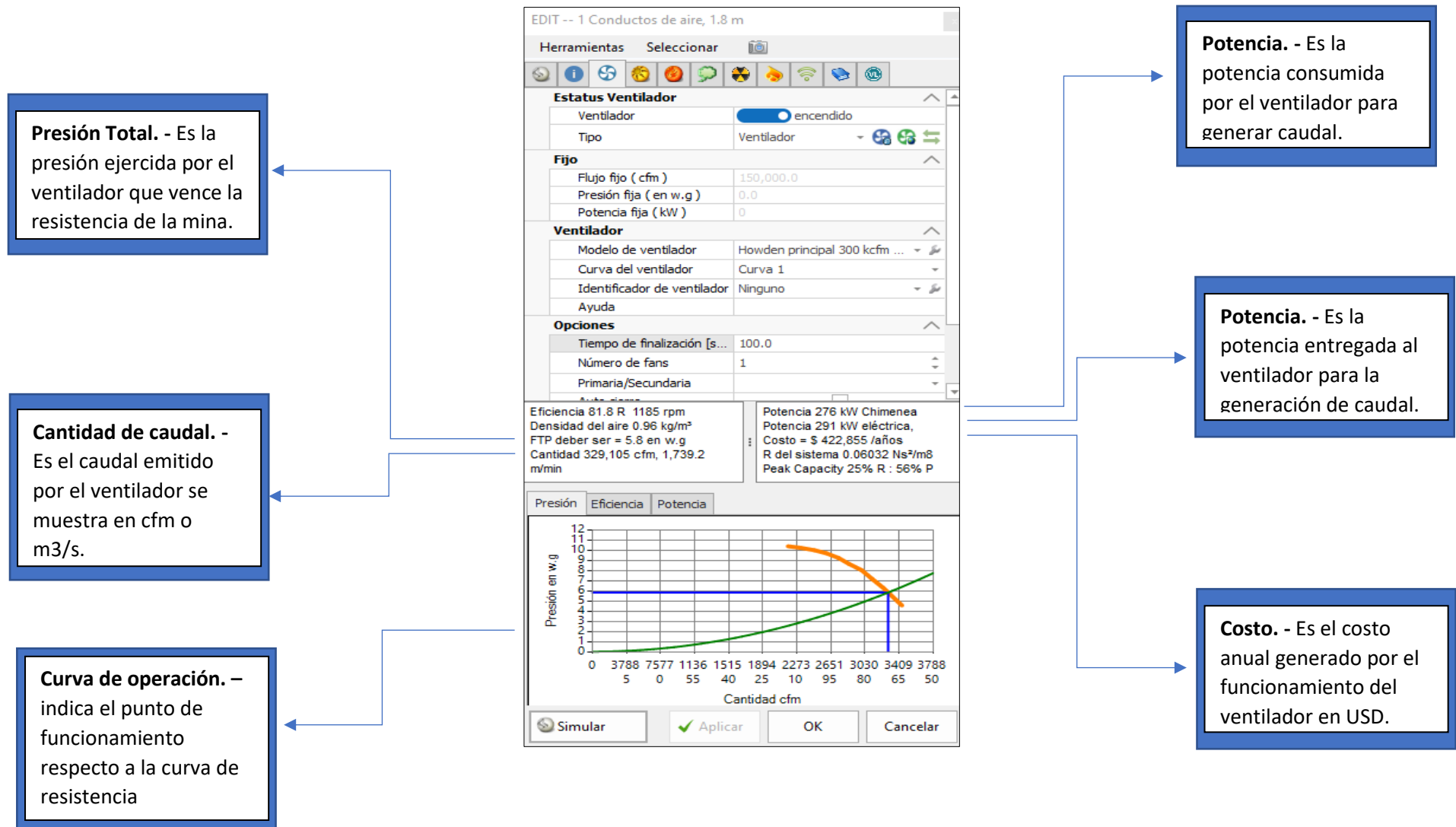
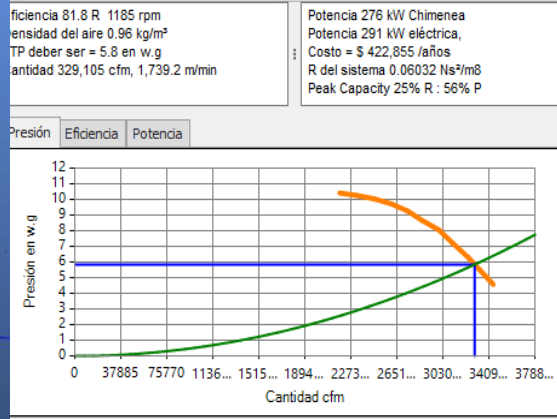
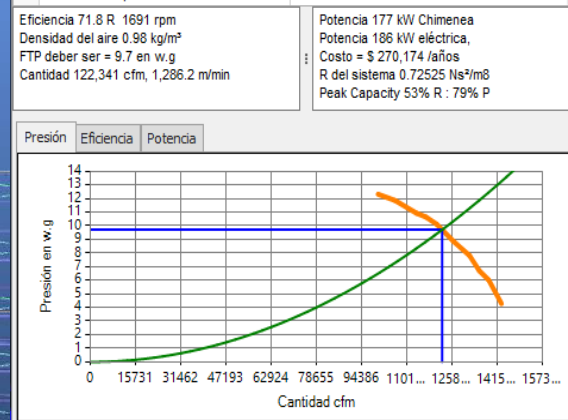
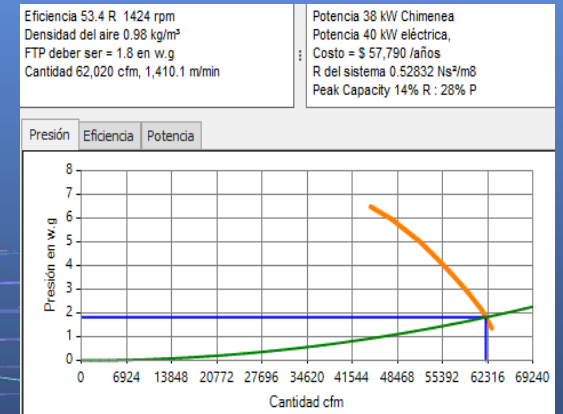
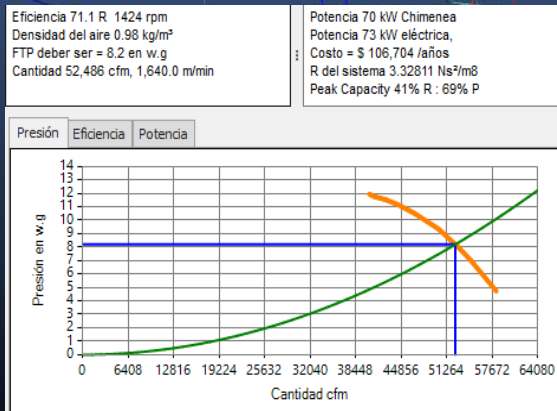
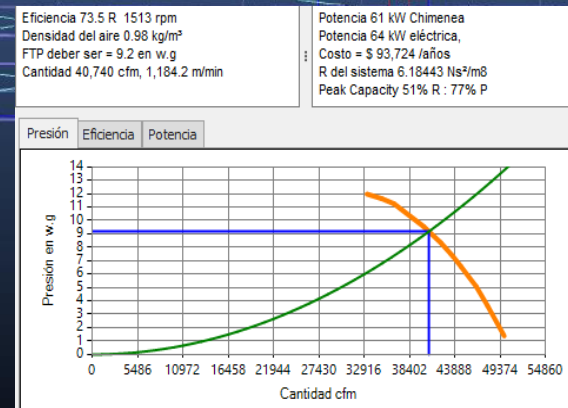
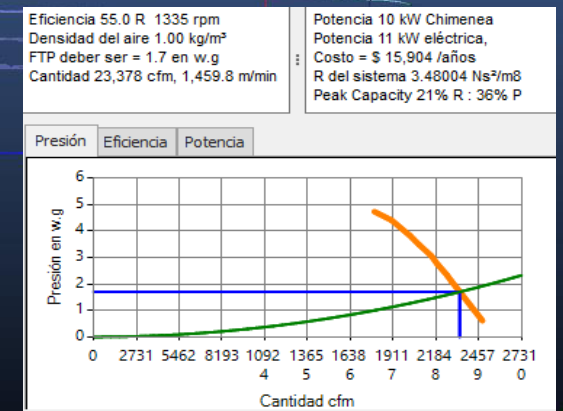


Gráfico 2.

Caracterización de ventiladores de 300,120,60,50,40 y 25 Kcfm.

Ventilador 300 Kcfm**Ventilador 120 Kcfm****Ventilador 60 Kcfm****Ventilador 50 Kcfm****Ventilador 40 Kcfm****Ventilador 25 Kcfm**

Factores “K” – Fricción y Choque

El método de minado y selección de túneles de desarrollo implican la perforación y voladura con desquínche, empernado de roca y malla de protección soportada con hormigón proyectado por motivos de seguridad. EDR, ha indicado que solo utilizará proyección de hormigón en las zonas que geotécnicamente sea necesario.

El factor “K” elegido para la rugosidad en este tipo de excavaciones se muestra.

Tabla 1.

Factor “K” para labores

Ítem	Tipo de labor	Factor K
1	Contrafrentes y acceso a contrafrentes (densidad estándar)	0.014 Kg/m ³
2	Factor de fricción para piques y pozos (densidad estándar)	0.005 Kg/m ³
3	Factor de fricción para las mangas flexibles (densidad estándar)	0.0036 Kg/m ³
4	Factor de fricción para ducto semi rígido plástico (densidad estándar)	0.019 Kg/m ³

Condiciones climáticas

Los datos climáticos completos proporcionados, se considera una cota de operación a los 1 715 m s. n. m. en la tabla 2 se muestra a detalle los valores predeterminados del clima para el modelo 3D del sistema de ventilación.

Tabla 2.

Condiciones climáticas proyecto “La Terronera”

Condiciones climáticas		
Ítem	Parámetro	Valor
1	Temperatura del bulbo húmedo	19.3 °C
2	Temperatura de bulbo seco	23.5 °C
3	Humedad relativa	70%
4	Densidad del aire superficial	0.94 Kg/m ³
5	Presión barométrica	84.19 KPa

Se está considerando los valores de ASHRAE para la temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco para la ciudad de Guadalajara con 1 529 m s. n. m, la cual se

asemeja a la elevación del proyecto “La Terronera” de 1750 m s. n. m. para la ciudad desarrollo del proyecto.

Los valores indicados acorde al Evaporador WB/MCDB al 2% para hoja de datos ciudad de GUADALAJARA INTL, MEXICO WMO:766133 son los mostrados.

Tabla 3.

Temperaturas de bulbo húmero y seco

Condiciones climáticas		
Ítem	Parámetro	Valor
1	Temperatura del bulbo húmedo	19.3 °C
2	Temperatura de bulbo seco	23.5 °C

Gradiente geotérmico

Se utilizará los siguientes valores referenciales para las simulaciones termodinámicas:

Tabla 4.

Condiciones de la gradiente geotérmica

Ítem	Parámetro	Valor
1	Gradiente geotérmico del Proyecto La Terronera	2.5 °C / 100 m
2	Temperatura calculada de la superficie de la roca	23.5 °C db

Configuración termodinámica – Equipos Diésel

Según el listado de los equipos a combustión Diésel con sus características técnicas y fundamentalmente la potencia (Hp/kW) se han simulado los efectos que pudieran generar un incremento de temperatura por efecto de los motores, así como el grado geotérmico (2.3°C /100 m en la profundización - vertical).

Condiciones climáticas y simulaciones termodinámicas.

Es importante determinar las condiciones termo ambientales en las labores para conocer las condiciones de calor que se brindaran a las personas que trabajaran en los frentes de preparación y producción en interior mina.

Condiciones iniciales.

A continuación, se determinan las características iniciales de las labores basándose únicamente en el gradiente geotérmico y transmisividad de calor de la roca hacia el medio ambiente.

Parámetros influyentes.

- **Equipos diésel** el principal aporte calórico y humedad al ambiente de la mina es la mayor fuente de calor en las minas mecanizadas, en la mina la Terronera se tiene un total de 2 836 kW de potencia nominal el cual será evaluado según tiempos de funcionamiento de los equipos y se calculará la transmisión de calor a las labores correspondientes.

Cabe acotar que la relación de potencia nominal y potencia efectiva es del 50% según el RFI proporcionado.

- **Calor y humedad** derivados del macizo rocosos y del agua subterránea; al ser un ambiente altamente seco, la transmisividad de calor por parte de aguas termales hacia el medio ambiente se considera totalmente nulo asimismo el calor transmitido por presencia de agua en el macizo rocoso se considera mínimo con un valor de simulación igual a 0.1 para este caso.
- **Auto compresión** En la medida de que el aire se interna en las profundidades y se “comprime” producto de la gravedad, la temperatura aumenta, teóricamente, cerca de 10 grados Celsius de bulbo seco por cada 1000 metros, en mina La Terronera se tiene una profundización estimada de 500 metros.
- **Maquinaria eléctrica** Ventiladores, bombas, subestaciones y sistemas de distribución eléctrica aportan calor al ambiente de trabajo subterráneo, para la mina la Terronera se considera el aporte de calor por parte de los ventiladores de forma automática hacia el medio ambiente.

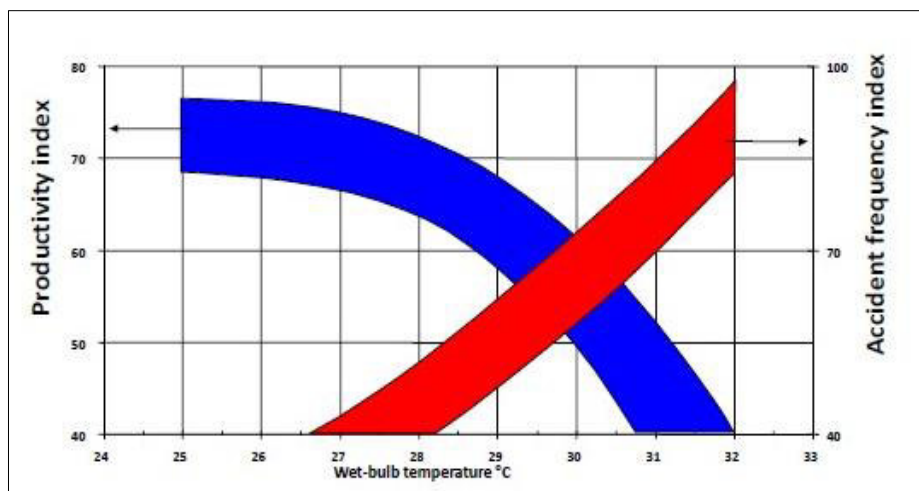
Parámetros de medición de calor.

Para cuantificar los cambios producidos en el ambiente de trabajo por la presencia de calor nos basaremos en las siguientes propiedades psicrométricas del aire.

- **Bulbo Húmedo** Es la propiedad del aire que describen la temperatura que tendría un volumen de aire si le enfría hasta saturarlo bajo una presión constante causada por la evaporación del agua, cabe mencionar que es la temperatura que nos servirá de medición de sensación térmica que percibe el trabajador en el frente de trabajo, asimismo es importante mencionar que esta propiedad está ligada intrínsecamente con la productividad del trabajador, tal como se describe en el grafico siguiente el punto máximo de trabajo corresponde a 31 °C de bulbo húmedo luego de este limite la productividad del trabajador disminuye y el índice de frecuencia de accidentabilidad aumenta .

Gráfico 3.

Índice de Accidentabilidad Vs Productividad en función de temperatura de bulbo húmedo



- **Bulbo Seco** Es la propiedad del aire que hace alusión la temperatura que se mide mediante un termómetro expuesto al aire con protección contra la radiación y la humedad.

- **Temperatura efectiva** La Temperatura Efectiva se define como la temperatura de aire aun saturado que entrega la misma sensación térmica que el ambiente real.

3.5.3. Simulación de equipos y transmisión de calor (Calibración)

En este proyecto se ha considerado la utilización de equipos Diésel en 3 puntos importantes de la mina desde el punto de evaluación de la productividad de la mina y el método de minado.

Es así que las evaluaciones en función al cambio de temperatura se realizaran en las siguientes labores y con las siguientes cantidades de equipos.

Proceso de simulación de calor

Para el proceso de simulación de tránsito de equipos y su influencia en las características termo ambientales del ambiente se tienen que considerar en el modelo software Ventsim Visual 5.4 cinco elementos propios de cada escenario los cuales son

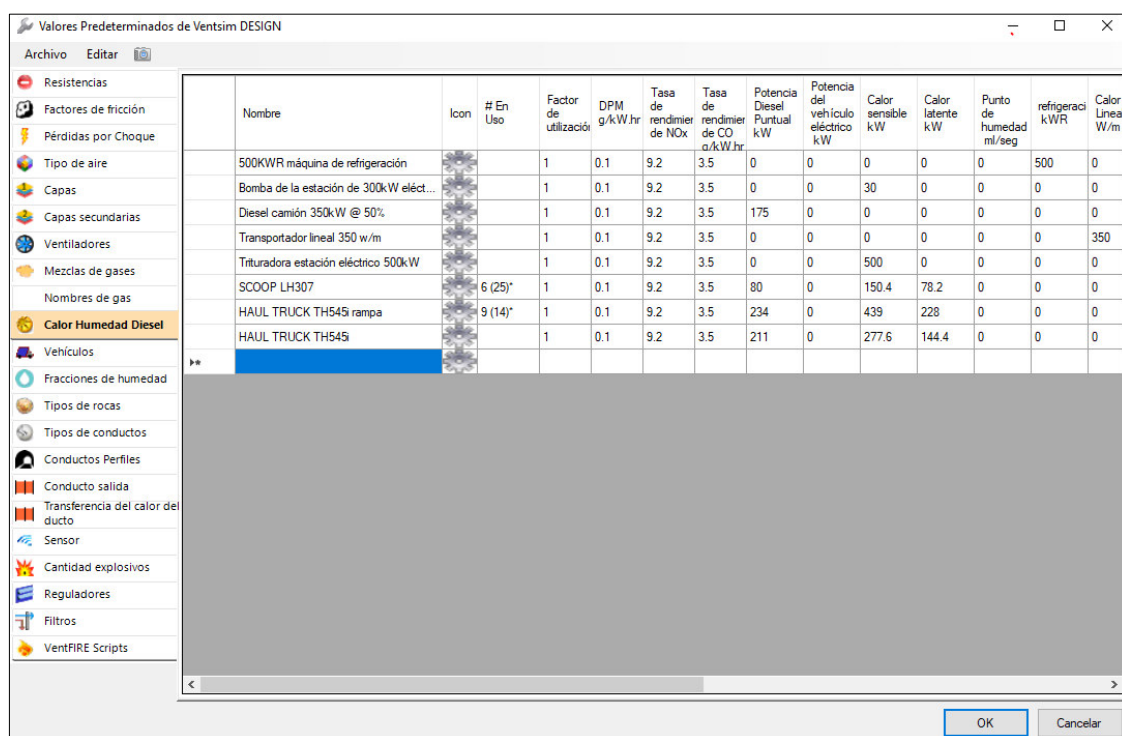
1. **Ruta de tránsito** Comprende la parte de la mina donde se está trabajando y se efectúa el tránsito del equipo en sí.
2. **Cantidad de equipos** Es importante determinar la cantidad de equipos que se encuentren trabajando simultáneamente en una labor identificando cada uno de ellos.
3. **Potencia nominal de equipos** Es un parámetro fundamental de análisis debido a que nos proporcionara los tipos de calor y cantidades específicas de calor a transmitirse a la labor.
4. **Factor de utilización** Es el factor basado en el tiempo de utilización u operatividad del equipo en comparación al tiempo total de la guardia.
5. **Sentido unidireccional o bidireccional del equipo** nos permitirá determinar si el análisis se designara con un equipo que realiza un único tránsito en un solo sentido o es un tránsito de ida y vuelta.

Luego es necesario realizar la caracterización de estos parámetros en el software Ventsim por lo cual se emplean 02 funciones importantes de simulación las cuales son:

- Evaluación de tipo de calor y transmisión de energía potencial emitida por cada equipo Diésel los cuales son propios de cada equipo a utilizarse y de las condiciones asociadas al modelo del equipo.

Figura 7.

Determinación de tipo de calor emitido según modelo de equipo Diésel



Nombre	Icon	# En Uso	Factor de utilización	DPM g/kW.hr	Tasa de rendimiento de NOx	Tasa de rendimiento de CO a/kW.hr	Potencia Diesel Puntual kW	Potencia del vehículo eléctrico kW	Calor sensible kW	Calor latente kW	Punto de humedad ml/seg	refrigeración kW	Calor Lineal W/m
500KWR máquina de refrigeración			1	0.1	9.2	3.5	0	0	0	0	0	500	0
Bomba de la estación de 300kW eléct...			1	0.1	9.2	3.5	0	0	30	0	0	0	0
Dieisel camión 350kW @ 50%			1	0.1	9.2	3.5	175	0	0	0	0	0	0
Transportador lineal 350 w/m			1	0.1	9.2	3.5	0	0	0	0	0	0	350
Trituradora estación eléctrico 500kW			1	0.1	9.2	3.5	0	0	500	0	0	0	0
SCOOP LH307		6 (25)*	1	0.1	9.2	3.5	80	0	150.4	78.2	0	0	0
HAUL TRUCK TH54Si rampa		9 (14)*	1	0.1	9.2	3.5	234	0	439	228	0	0	0
HAUL TRUCK TH54Si			1	0.1	9.2	3.5	211	0	277.6	144.4	0	0	0

Nota. En esta figura se pueden observar las características de cada equipo a utilizar en la mina, las cuales fueron proporcionadas por la empresa y también tomando en cuenta sus fichas técnicas.

- Determinación de funcionalidad de escenario de calor en base a los 05 parámetros designados anteriormente en función al tipo de trabajo del equipo Diésel.

Figura 8.
Funcionalidad del escenario de calor según características de trabajo del equipo.

Edición de pista

ra

Etapa Princ 04 rampa extraccion

rampa de extraccion

neo

HAULTRUCK PRUEBA

ET1 HAULTRUCK

ET1 SUP RP2

ET1 INF RP4

ET1 SUP-2 RP4

ET1 SUP-1 RP4

ET1 INF RP1

ET1 SUP-1 RP1

ET1 SUP RP1

ET4 RP3 INF

ET4 RP3 SP-1

ET4 RP3 SUP

ET4 RP2 SUP INF

ET4 RP2 SUP-1

ET4 RP2 SUP

RP3 SUP ET3

RP2 ETP3 INF

ETP3 RP2 SUP

RP4 NVINF

RP4

RP3 NV INF

RP3 NV SUP

RP2 NV -1SUP

RP2 SUP ET2

RP1 NV1428 ET2

RP1 NV 1428 E2

Detalles de seguimiento

Nombre

Etapa Princ 04 rampa extraccion

Etapas

Etapa 4 (01.08.2032)

Activo

ON

Color

☐ Efecto piston

☒ Bi-direccional

☐ Establecer uniones

☒ Flujo ponderado

Unidades representan:

☒ Unidades totales a la vez

☐ Unidades totales por hora

☐ Por unidad de longitud

Ingrese vehículos:

☒ Sola entrada

☐ Ingrese unidades por tiempo (función BE

Retrasar el

0

segundos

Modelar

☐ discretament

☒ como efecto

Conductos de aire

Conductos de pista 158

☐ Resalte en la vista 3D

Añadir selección

Reemplazar selección

Quitar selección

Búsqueda de conductos

Despejar la pista

Dirección de pista

Ir a empezar

Selecione arranque

☐ Mostrar solo pistas en

Programar calor

Programar vehiculos

OK

Cancelar

	Tipo de calor	Tipo de vehículo	Ajustes de conversión	Entrada de tiempo
...	HAUL TRUCK TH545i rampa		4	
*				

1. Caso 1: Para este caso se ha determinado la elección del punto de mayor tránsito de equipos en la mina correspondiente a la labor rampa de extracción portal 1 debido a que la función de esta labor es el transito bidireccional de equipos volquetes de codificación TH545i los cuales se encargan de trasladar el mineral de los ore pass principales hacia superficie.

Figura 9.

Análisis de temperaturas de bulbo húmedo sin equipos trabajando en la rampa de extracción Portal 01

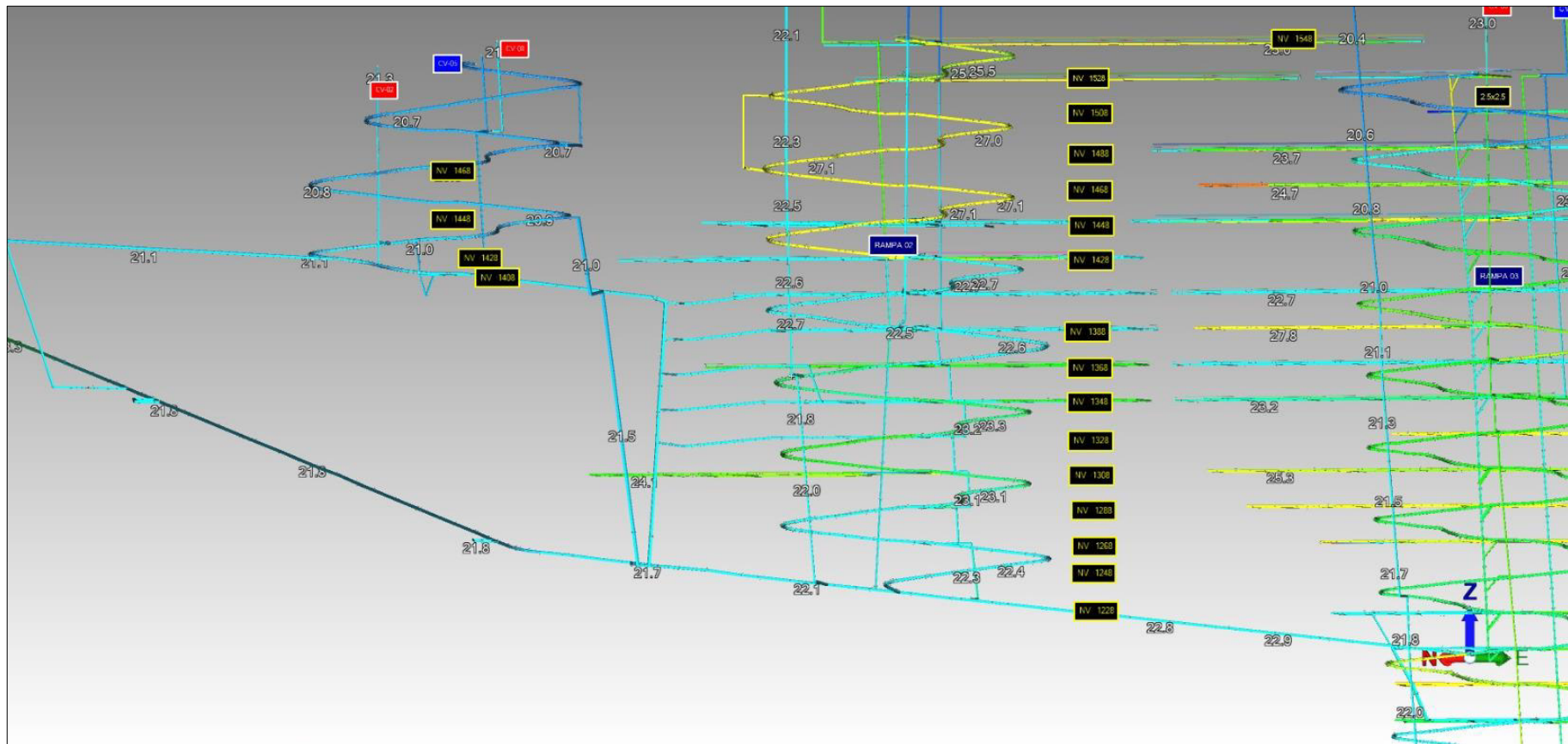


Tabla 5.

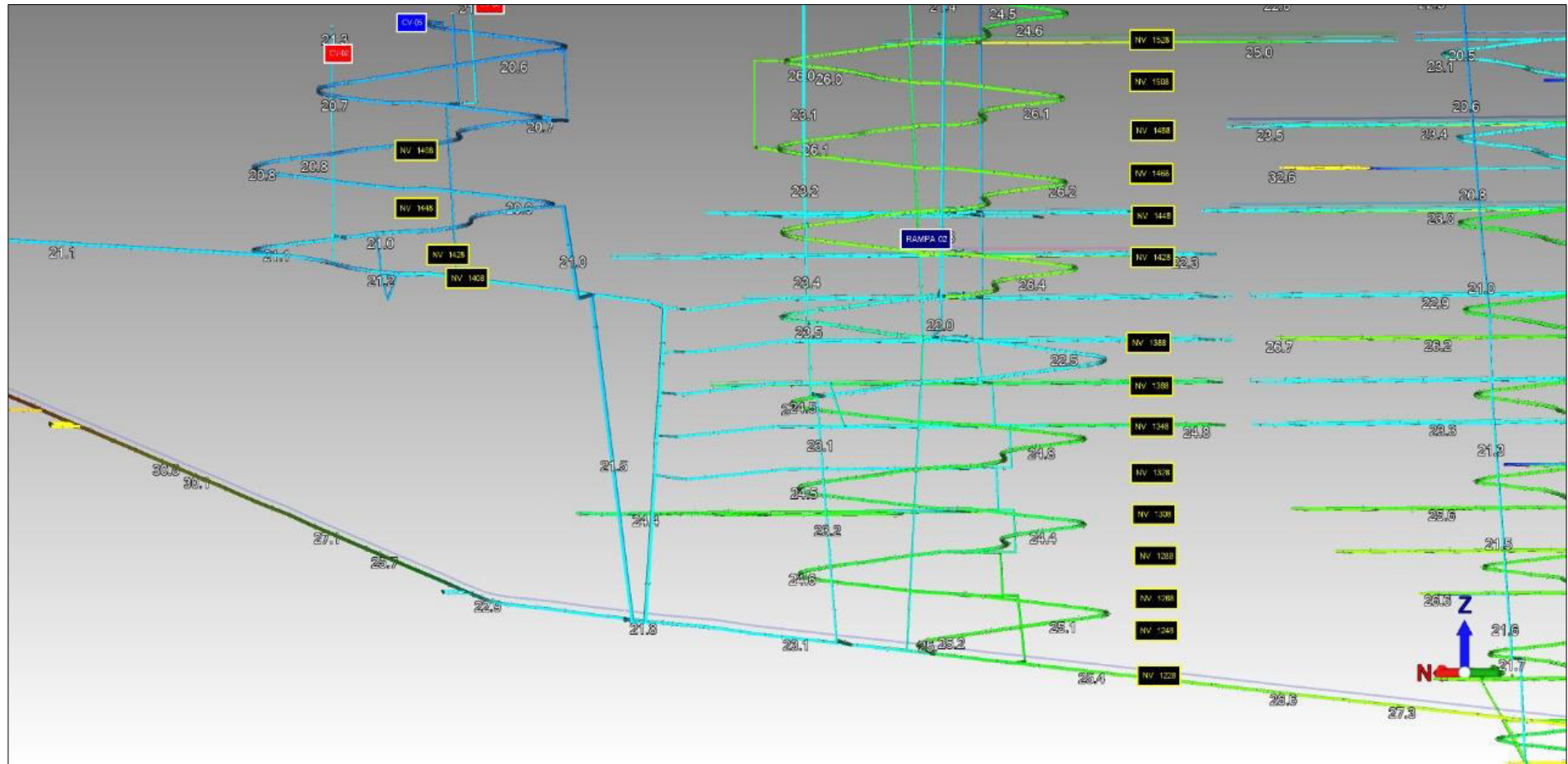
Listado de propiedades de simulación en la rampa de extracción Portal 1

Etapa	Ubicación	Equipos	Propiedades					
			Modelo	Cantidad	Potencia	Factor de utilización	Potencia efectiva	Tipo de transito
			(Kcfm)	#	Kw	%	Kw	Bidireccional
4	Rampa de extracción Portal 1	Volquetes	TH545i	4	450	50	225	Ida y vuelta

Para el caso de simulación se han considerado 04 volquetes con un factor de utilización del 50% desde bocamina hasta el pie de la rampa 03 obteniéndose temperaturas de bulbo húmedo de 22.8°C sin equipos y máximas de 31.5°C con los equipos trabajando.

Figura 10.

Análisis de temperaturas de bulbo húmedo con 04 volquetes TH545i trabajando en simultaneo en la rampa de extracción Portal 01.



2. Caso 2: Para este caso se ha determinado la elección del punto de mayor tránsito de equipos en la mina correspondiente a la labor denominada Nv. 1448 en la rampa 3 como ejemplo de calor producido en los niveles de producción.

Para el caso de simulación se han considerado 01 Scoop modelo LH 307 con un factor de utilización del 50% desde que transita en todo el nivel incluyendo el acceso a contrafrente y finaliza antes de iniciar la rampa, los resultados muestran unas condiciones iniciales de 22.3°C de bulbo húmedo sin equipos y máximas de 25.6°C con los equipos trabajando.

Tabla 6.

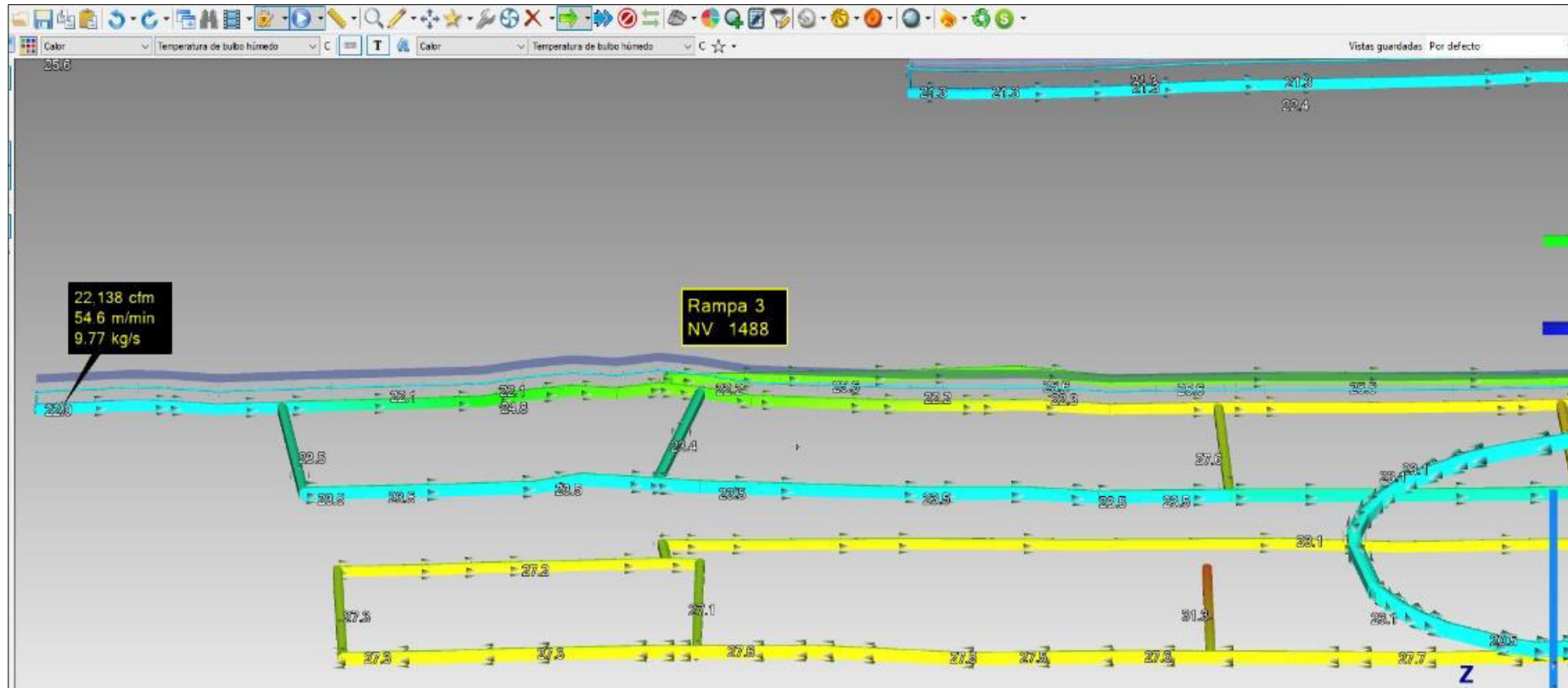
Listado de propiedades de simulación en la rampa 03 NV 1448

Etapas	Ubicación	Equipos	Propiedades					
			Modelo (Kcfm)	Cantidad #	Potencia Kw	Factor de utilización %	Potencia efectiva Kw	Tipo de tránsito Bidireccional
4	Rampa 3–Nv 1448	Scoop	LH307	1	256	50	128	Ida y vuelta

El análisis de los demás niveles correspondientes a etapas anteriores y a las otras rampas de la mina se están adicionando en la parte de anexos donde se evalúan los máximos y mínimos correspondientes a la temperatura de bulbo húmedo manteniendo las mismas condiciones de simulación presentadas en la tabla anterior. Del mismo modo se analiza los máximos y mínimos de los otros dos casos y se evalúa rampa por rampa y nivel por nivel de producción operativa según etapa en el ANEXO ANALISIS TERMODINAMICO.

Figura 12.

Análisis de temperaturas de bulbo húmedo con un Scoop LH 307 trabajando.



3. Caso 3: Para este caso se ha determinado la elección del punto de mayor tránsito de equipos en la mina correspondiente a la labor denominada rampa 3 como ejemplo de calor producido en las rampas mientras transitan dos Scoop de servicios en la rampa con un sentido bidireccional.

Para el caso de simulación se han considerado 02 Scoop modelo LH 307 con un factor de utilización del 50% desde que transitan en toda la rampa desde el nivel 1548 hasta el nivel, los resultados muestran unas condiciones iniciales de 25.1°C de bulbo húmedo sin equipo y máximas de 27.5°C con los Scoop trabajando.

Tabla 7.

Listado de propiedades de simulación en la rampa 03.

Etapa	Ubicación	Equipos	Propiedades					
			Modelo	Cantidad	Potencia	Factor de utilización	Potencia efectiva	Tipo de transito
			(Kcfm)	#	Kw	%	Kw	Bidireccional
4	Rampa 3–Nv 1448	Scoop	LH307	2	256	50	128	Ida y vuelta

Figura 13.

Análisis de temperaturas de bulbo húmedo sin equipos trabajando

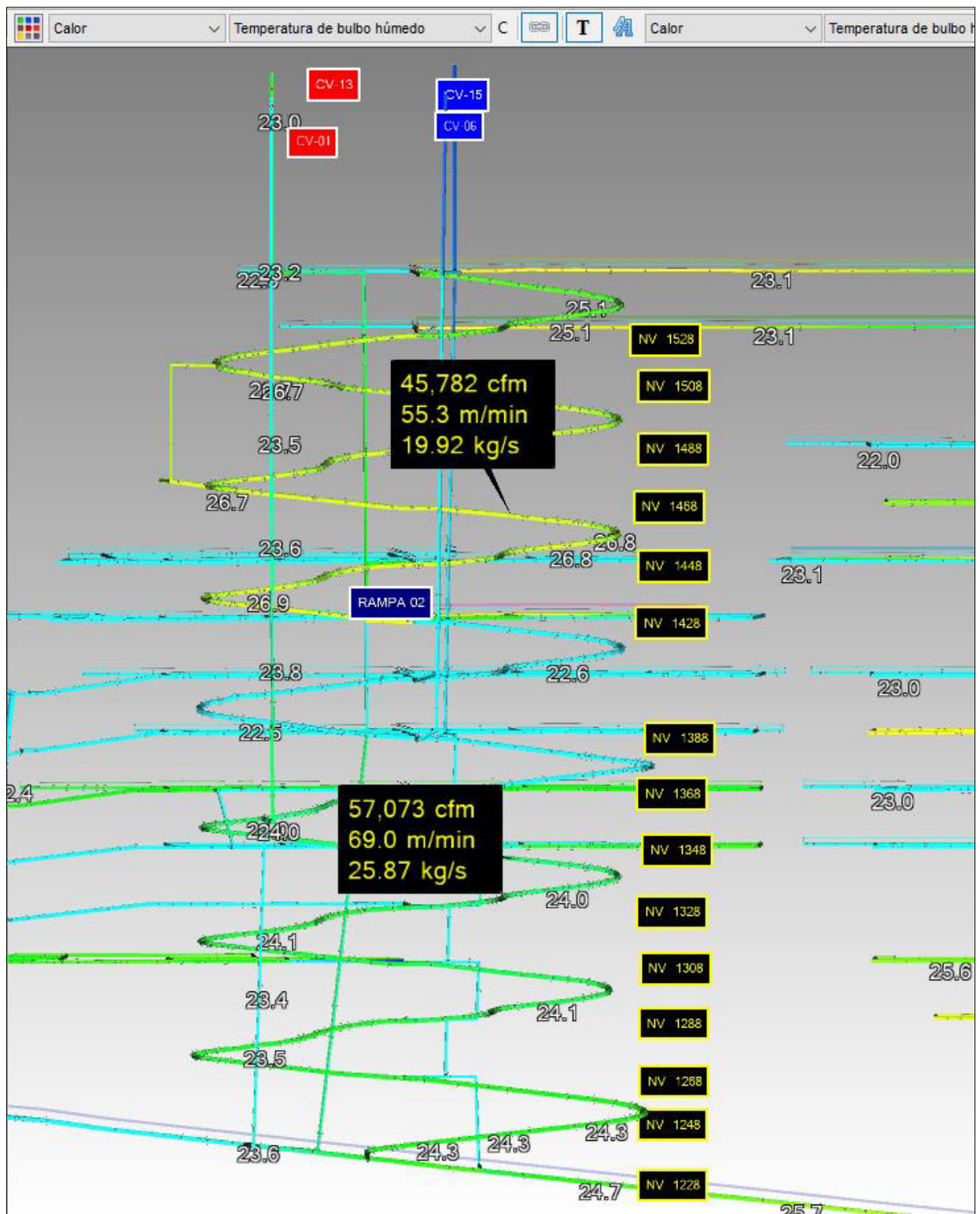
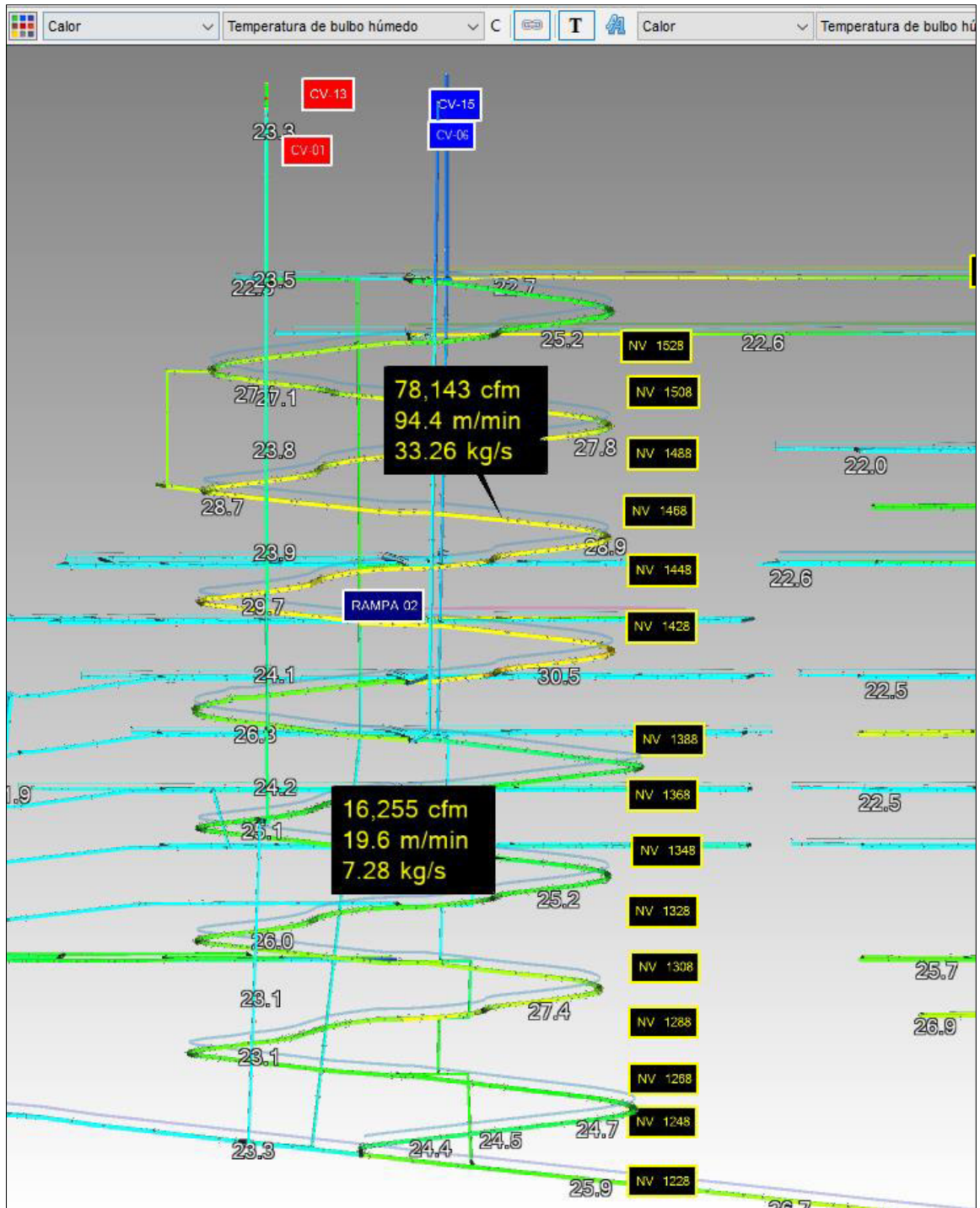


Figura 14.

Análisis de temperaturas de bulbo húmedo posterior a la utilización de 02 equipos scoop



3.5.4. Resumen de la red y cobertura del sistema por etapas (Simulación)

Etapas 1

La etapa 1 corresponde a la integración de la mina “La Terronera” como un circuito integral conectándose en esta etapa las Rampas 1, 2, 3 y Rampa 4 con fecha de inicio 31.10.2023, además se tiene la independización de circuitos de ventilación mediante la colocación de puertas de ventilación entre cada conexión de rampa a rampa, adicionalmente se ha considerado para la rampa 01 la ejecución de unos ejes independientes de ventilación de ingreso y de salida de codificación CV-05 y CV-08 respectivamente y la rampa Portal 1 de extracción se mantiene como integración de las 04 rampas principales.

Los niveles operativos de extracción de mineral se dan inicio en esta etapa, estos se encuentran en las 04 rampas principales únicamente como avances de niveles, cuyas ubicaciones según rampas se detallan a continuación en la siguiente tabla:

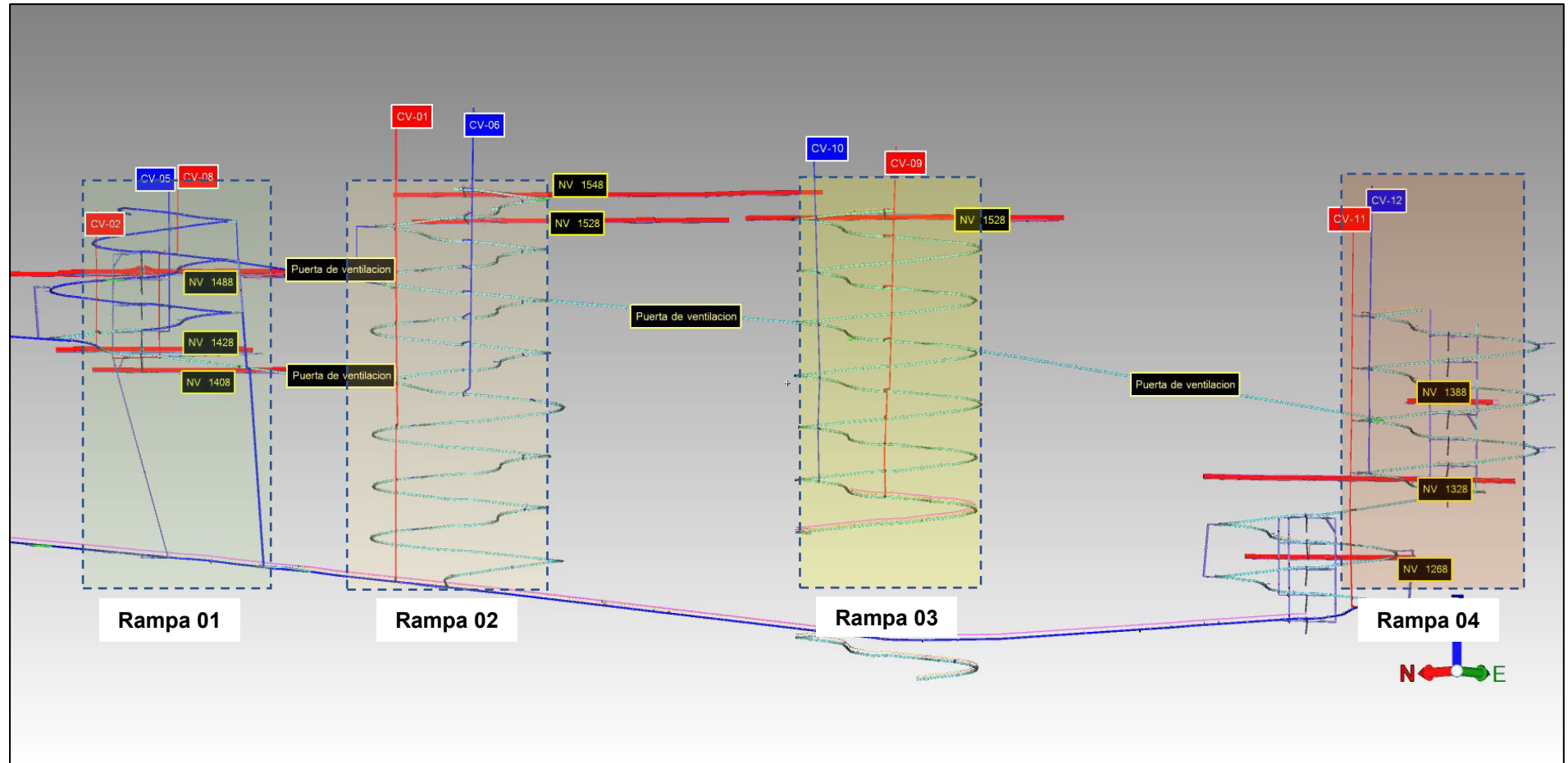
Tabla 8.

Ubicación de niveles de producción de mineral.

Ítem	Rampa	Niveles operativos de producción en niveles Etapa 01		
1	Rampa 1	Nv 1408	Nv 1428	Nv 1488
2	Rampa 2	Nv 1528	Nv 1548	
3	Rampa 3	Nv 1548		
4	Rampa 4	Nv 1328	Nv 1388	

Figura 15.

Ubicación de niveles de producción, Etapa 1 "La Terronera"



Fórmulas de caudal utilizadas:

- Caudal (m^3/s) = Kw totales * 0.06
- Caudal (cfm) = Caudal (m^3/s) * 2119.2

Adicionalmente en la simulación del modelo de ventilación en Ventsim™ Design 5.4 se establece la cantidad de caudal de ingreso 680 333 cfm obteniendo así un cumplimiento de cobertura de 125 % (**Caudal de ingreso/Caudal requerido*100%**) y un consumo de energía de 1 904 KW y un costo anual de \$ 2 768 299.

Figura 16.

Resumen Etapa 01, simulación en Ventsim™ Design 5.4.

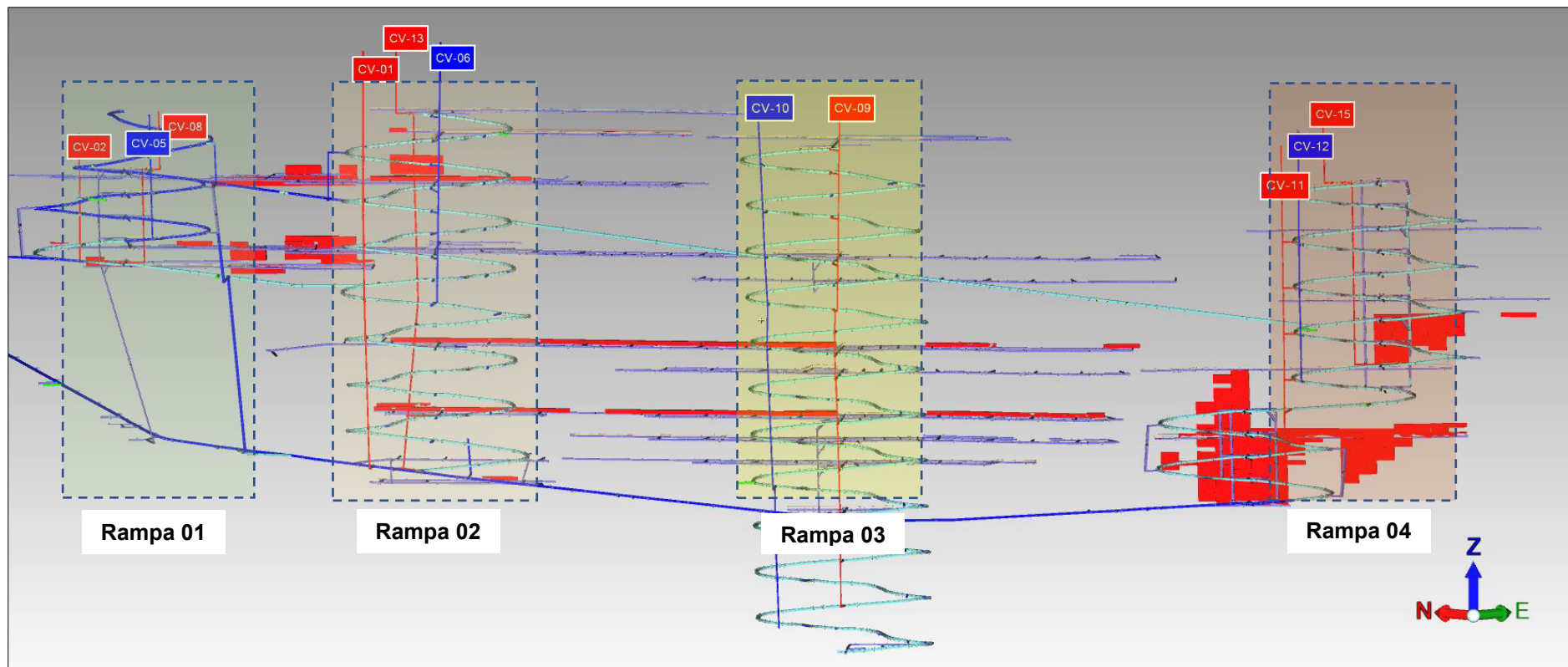
RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapas	10: Etapa 1 (31.10.2023)
Todos los conductos de aire	46164
Actual etapas conductos	3608
Segmentos de etapa actual	969
Longitud total	31,637.8 m
Caudal de aire total de admisión	680,333 cfm
Caudal de aire total de escape	685,566 cfm
Flujo de masa total	305.69 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.00359 Ns^2/m^8
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.03167 Ns^2/m^8
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,060 kW Total
	80 kW Chimenea
	41 kW Conducir
	940 kW Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia	0 kW
Potencia eléctrica de ENTRADA	1,904 kW
Costo de energía anual de la red	\$ 2,768,299
Eficiencia de la red	55.7 R
Que consta de ..	
27 Ventiladores	1,904 kW
0 Presiones fijadas	0 kW
0 Flujos fijos	0 kW
0 potencias fijas	0 kW
0 Refrigeración	0 kW

Etapa 2

En la etapa 2 que da inicio en fecha 01.07.2024 se da el inicio de la producción de la mina mediante tajos en la parte superior de la rampa 01 inferior de la Rampa 04, cabe mencionar que aún se mantiene los ejes iniciales de ventilación en toda la mina y únicamente se proyecta en la rampa 04 el eje de ventilación de extracción de código CV-15.

Figura 17.

Circuito de ventilación, Etapa Principal 2.



Fórmulas de caudal utilizadas:

- Caudal (m^3/s) = Kw totales * 0.06
- Caudal (cfm) = Caudal (m^3/s) * 2119.2

En la simulación del modelo de ventilación en Ventsim™ Design 5.4, establece la cantidad de caudal de ingreso igual a 825 963 cfm teniendo así un cumplimiento de cobertura de 121 % (**Caudal de ingreso/Caudal requerido*100%**) y un consumo de energía de 1 818 KW y un costo anual de \$ 2 643 166.

Figura 18.

Resumen Etapa 02, según simulación en Ventsim™ Design 5.4.

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapas	11: Etapa 2 (01.07.2024)
Todos los conductos de aire	46164
Actual etapas conductos	6291
Segmentos de etapa actual	2061
Longitud total	53,676.0 m
Caudal de aire total de admisión	825,963 cfm
Caudal de aire total de escape	846,393 cfm
Flujo de masa total	371.10 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.00230 Ns^2/m^8
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.01320 Ns^2/m^8
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	811 kW Total
	95 kW Chimenea
	47 kW Conducir
	670 kW Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia	0 kW
Potencia eléctrica de ENTRADA	1,818 kW
Costo de energía anual de la red	\$ 2,643,166
Eficiencia de la red	44.6 R
Que consta de ..	
33 Ventiladores	1,818 kW
0 Presiones fijadas	0 kW
0 Flujos fijos	0 kW
0 potencias fijas	0 kW
0 Refrigeración	0 kW

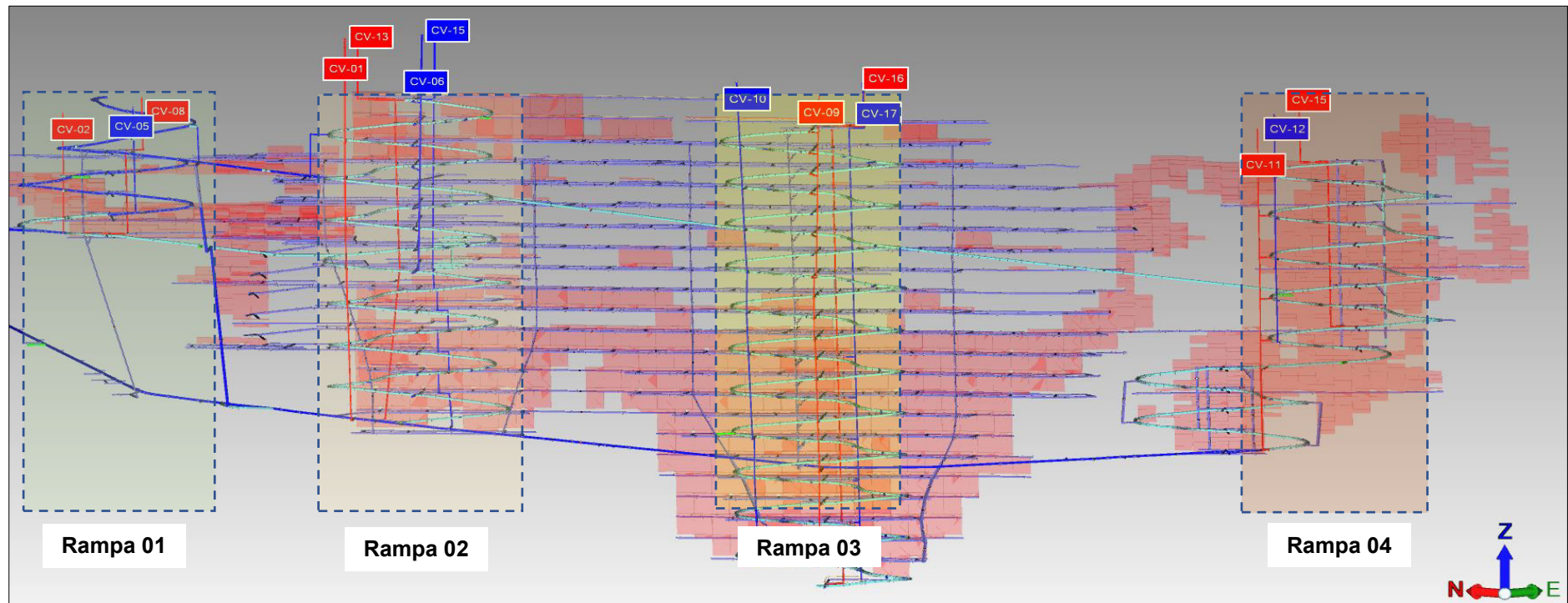
Etapa 3

Esta etapa concierne a la producción de la parte baja de la mina donde se tiene la mayor zona de operación en marcha de los niveles de producción desde el Nv 1268 hasta el Nv 1347 ubicados principalmente en la Rampa 2 y Rampa 3, que conforman el Nv. 1147 hasta el Nv. 1307 como niveles centrales de producción, También en esta Etapa se da la finalización de los niveles de producción en la Rampa 04

Se ubican 02 ventiladores principales de extracción de 300 Kcfm en los ejes de extracción en las Rampas 1 y 2.

Figura 19.

Circuito de ventilación, Etapa Principal 3.



Se muestra los equipos involucrados en la preparación de la mina hasta esta fecha y su cálculo correspondiente de valor de cobertura según la legislación minera de Canadá de Ontario 854, para la etapa 3 con un total de requerimiento de caudal igual a 1 089 591 cfm.

Tabla 11.

Cálculo de requerimiento de caudal - Etapa 3 “La Terronera”

Ítem	Equipos	Marca	Modelo	Potencia (KW)	Cant.	Porcentaje de uso (%)	Potencia Total (KW)
1	Jumbo	Sandvik	DD321	110	4	70%	308
2	Jumbo	Sandvik	DD311	74	3	35%	78
3	Bolter	Sandvik	DS311	74	7	35%	181
4	Longhole Drilling Machine	Sandvik	DL331	74	4	20%	59
5	Longhole Drilling Machine	Sandvik	DL210	55	2	30%	33
6	Haul Trucks	Sandvik	TH545i	450	6	85%	2 295
7	Scoops	Sandvik	LH514	256	8	85%	1 741
8	Scoops	Sandvik	LH307	160	1	85%	136
9	Scissor Lift	Getman	A64 SL (SLIDER)	129	4	30%	155
10	Shotcrete Machine	Normet	ALPHA 20	109	2	30%	65
11	Concrete Mixer	Getman	A64 HD R 60	164	4	30%	197
12	Service truck	Getman	A64 HD PALLET HANDLER	129	2	30%	77
13	Service truck	Getman	A64 CRANE TRUCK	129	3	30%	116
14	Service truck	Haulotte	Telehandler	135	2	60%	162
15	Service truck	Getman	A64 SERVICE LUBE	129	2	25%	65
16	Service truck	Getman	A64 PC PALLET	129	2	30%	77
17	Service truck	Ford	F-550	260	8	60%	1 248
18	Excavator	Cat	309	55.4	3	50%	83
19	Excavator	Hiab	HIAB	100	1	30%	30
20	Motor Grader	Komatsu	GD535-5	115	1	30%	35
Total (kW)							7 141
Otros 20% (KW)							8 569
Caudal (m3/s) – Ontario 854							514
Caudal (cfm) – Ontario 854							1 089 591

Fórmulas de caudal utilizadas:

- Caudal (m^3/s) = Kw totales * 0.06
- Caudal (cfm) = Caudal (m^3/s) * 2119.2

En la simulación del modelo de ventilación en Ventsim™ Design 5.4, en la etapa 3 se establece la cantidad de ingreso de caudal de 1 199 936 cfm teniendo así un cumplimiento de cobertura de 110% (**Caudal de ingreso/Caudal requerido*100%**) y un consumo de energía de 1 802 KW y un costo de energía anual de \$ 2 621 090.

Figura 20.

Resumen Etapa 03, según simulación Ventsim™ Design 5.4.

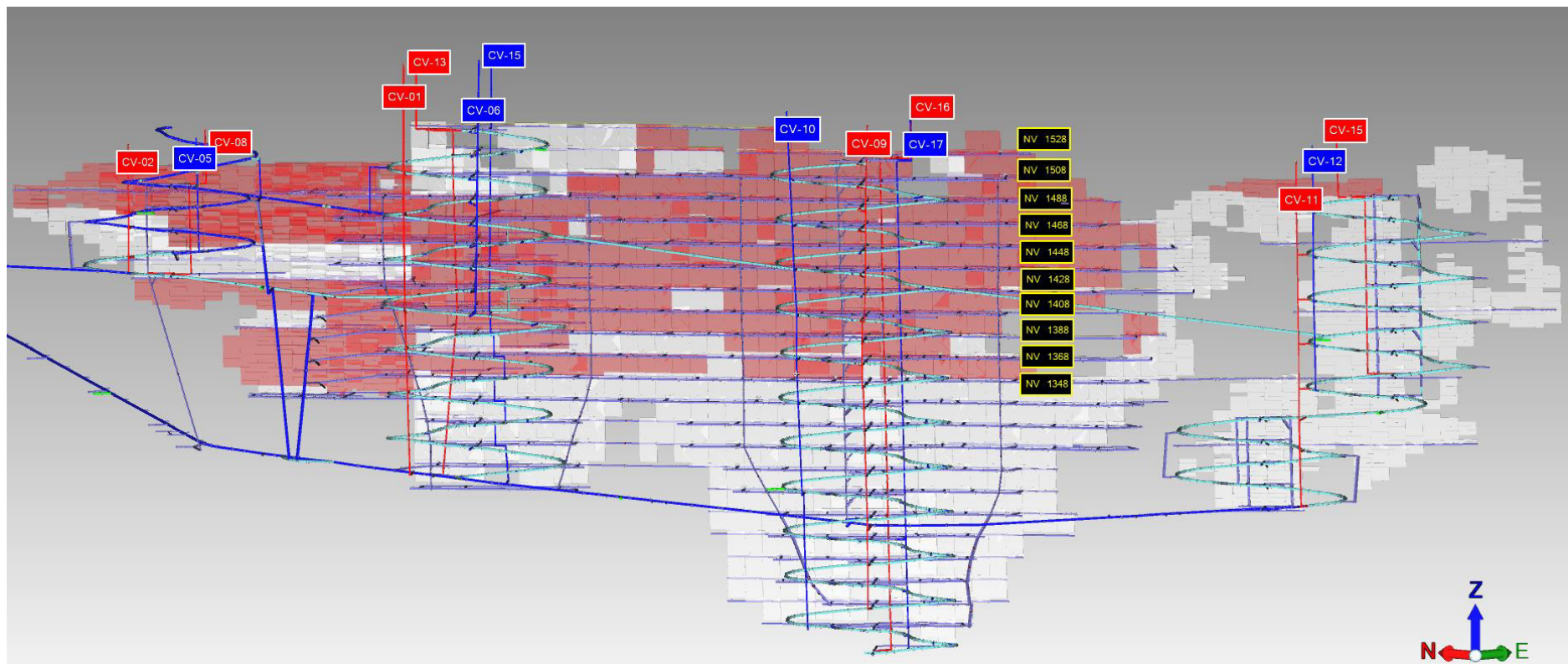
RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapas	12: Etapa 3 (01.07.2028)
Todos los conductos de aire	46164
Actual etapa conductos	9511
Segmentos de etapa actual	3540
Longitud total	83,049.0 m
Caudal de aire total de admisión	1,199,936 cfm
Caudal de aire total de escape	1,208,492 cfm
Flujo de masa total	539.25 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.00354 Ns^2/m^8
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.00595 Ns^2/m^8
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,092 kW Total
	555 kW Chimenea
	95 kW Conducir
	442 kW Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia	0 kW
Potencia eléctrica de ENTRADA	1,802 kW
Costo de energía anual de la red	\$ 2,621,090
Eficiencia de la red	60.6 R
Que consta de ..	
22 Ventiladores	1,802 kW
0 Presiones fijadas	0 kW
0 Flujos fijos	0 kW
0 potencias fijas	0 kW
0 Refrigeración	0 kW

Etapa 4

Esta etapa concierne a la Producción de la parte superior de la mina donde se tiene la mayor zona de operación en marcha de los niveles de producción desde el Nv. 1367 hasta el Nv. 1448, ubicados principalmente en la Rampa 2 y la Rampa 3, ubicados entre el Nv. 1348 hasta el Nv. 1487 como ejes centrales de producción y adicionalmente en esta etapa se finaliza los niveles de Producción de la parte inferior de la mina, se mantiene la misma distribución de los ventiladores principales de forma idéntica a la Etapa 3.

Figura 21.

Circuito de ventilación, Etapa Principal 4



Se muestra los equipos involucrados en la preparación de la mina hasta esta fecha y su cálculo correspondiente de valor de cobertura según la legislación minera de Canadá de Ontario 854, para la etapa 4 con un total de requerimiento de caudal igual a 1 099 603 cfm.

Tabla 12.

Cálculo de requerimiento de caudal - Etapa 4 "La Terronera".

[illegible]

Fórmulas de caudal utilizadas:

- Caudal (m^3/s) = Kw totales * 0.06
- Caudal (cfm) = Caudal (m^3/s) * 2119.2

En la simulación del modelo de ventilación en Ventsim™ Design 5.4 en la etapa 4, establece la cantidad de ingreso de caudal de 1 179 078 cfm teniendo así un cumplimiento de cobertura de 107 % (**Caudal de ingreso/Caudal requerido*100%**) y un consumo de energía de 1 756 KW y un costo de energía anual de \$ 2 554 192.

Figura 22.

Resumen Etapa 04, según Ventsim™ Design 5.4.

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapas	13: Etapa 4 (01.08.2032)
Todos los conductos de aire	46164
Actual etapa conductos	9982
Segmentos de etapa actual	3587
Longitud total	85,411.3 m
Caudal de aire total de admisión	1,179,078 cfm
Caudal de aire total de escape	1,195,878 cfm
Flujo de masa total	529.58 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.00231 Ns^2/m^8
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.00597 Ns^2/m^8
RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,050 kW Total
	321 kW Chimenea
	86 kW Conducir
	644 kW Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia	0 kW
Potencia eléctrica de ENTRADA	1,756 kW
Costo de energía anual de la red	\$ 2,554,192
Eficiencia de la red	59.8 R
Que consta de ..	
26 Ventiladores	1,755 kW
0 Presiones fijadas	0 kW
1 Flujos fijos	2 kW
0 potencias fijas	0 kW
0 Refrigeración	0 kW

Tabla 13.

Cuadro general de análisis de cobertura y balances por etapas principales.

Descripción	Unidad	Etapas	Etapas	Etapas	Etapas
		01	02	03	04
		(01/10/2022 - 31/10/2023)	(31/10/2023 - 01/07/2024)	(01/07/2024 - 01/07/2028)	(01/07/2028 - 01/08/2032)
Caudal de ingreso (Qi)	cfm	680,333	825,963	1,199,936	1,179,078
Caudal de Salida (Qs)	cfm	685,566	846,393	1,208,492	1,195,878
Aumento de caudal	cfm	-	145,630	373,973	20,858
Caudal req. (Qr)	cfm	544,849	680,929	1,089,591	1,099,603
Superávit	cfm	135,484	145,034	110,345	79,475
Cobertura Global	%	125%	121%	110%	107%
Pot. Eléctrica instalada	Kw	1,904	1,818	1,802	1,756
Costo de Energía	US\$/año	2,768,299	2,643,166	2,621,090	2,554,192
Resistencia de la mina	Ns2/m8	0.00174	0.00145	0.00105	0.00078
KPI (usd/cfm)	US\$/cfm	4.07	3.2	2.18	2.17
Inversión ventiladores	US\$	244,940	877,785	2,052,520	0

Tabla 14.*Resumen de cobertura por etapas principales*

	Caudal Req (cfm)	Caudal proyectado (cfm)	Cobertura (%)
Etapas 1	544,849	680,333	125
Etapas 2	680,929	825,963	121
Etapas 3	1,089,591	1,199,936	110
Etapas 4	1,099,603	1,179,078	107

Simulación evacuación de gases – Frentes y labores de producción (Explosivo)

Se ha simulado los tiempos de evacuación de los gases producidos en voladura para cada una de las etapas de preparación y de minado estableciéndose las Etapas Previas a la integración de todas las rampas principales (Etapas Previas del 1 al 9) en donde se evalúa el tiempo de salida de los gases en cada uno de los frentes y las etapas de evaluación integral (etapas principales del 1 al 4) en donde se evalúa la evacuación de gases en los frentes y en la mina en su conjunto como un todo.

Parámetros de simulación

Los parámetros de evaluación para la simulación de explosivos han sido seleccionados en base a la importancia y solicitud de demanda del modelo para una correcta simulación del caso, estos comprenden los siguientes parámetros para los siguientes tipos de labor:

Tabla 15.*Parámetros de simulación de explosivos según tipo de labor*

Labor	Sección (m x m)	Tipo de explosivo	Cant. de explosivos (Kg)
Rampas	5.0 x5.0	70/30 ANFO/Emulsión	280
Acceso a contrafrente	3.5 x4.2	70/30 ANFO/Emulsión	180
Niveles de producción	5.0 x5.0	70/30 ANFO/Emulsión	250

Para el modelamiento en Ventsim también se ha considerado los siguientes parámetros como datos de entrada a la simulación de explosivos:

- Tipo de explosivos. (Contaminante tipo ANFO 70% y Emulsión 30%)
- Cantidad de explosivos para frentes según tipo de avance.
- Concentración de CO durante evaluación.
- Límite máximo permisible según legislación peruana (25 ppm).

Figura 23.

Parámetros de entrada al simulador de explosivos

Herramientas Seleccionar	
Contaminante	
Contaminante	☒ encendido
Concentración	0
Inyección (litros/seg.)	0.00
Polvo (mg/m ³)	0.0
Inyección de polvo (litros/s...	0.00
Comportamiento dinámico	
Tipo de contaminante dinám...	Estado estacionario
Periodo de liberación (segu...	0
Retraso del lanzamiento (s...	0
Explosivos	
Explosivos	70/30 ANFO/Emulsion
Cantidad explosivos (kg)	280
> Tasa de dispersión	Moderado
Concentración inicial de no ...	13,004.0
Herramienta de ubicación de fuente	
Informe de humo	☐
Informe frescas	☐
Filtros	
Filtro	
Paralelo Filtros	1
Obstrucción (R)	0.0
Simular Aplicar OK Cancelar	

Procedimiento de evaluación

El procedimiento de evaluación consiste en determinar los tiempos exactos que permitirán al personal el reingreso a los frentes de trabajo, esto cuando la concentración de CO en ppm se encuentre en cero partes por millón de monóxido de carbono (0 ppm de CO) igualmente el punto de accesibilidad a la labor, estableciéndose así condiciones seguras de trabajo según etapas del modelo Ventsim.

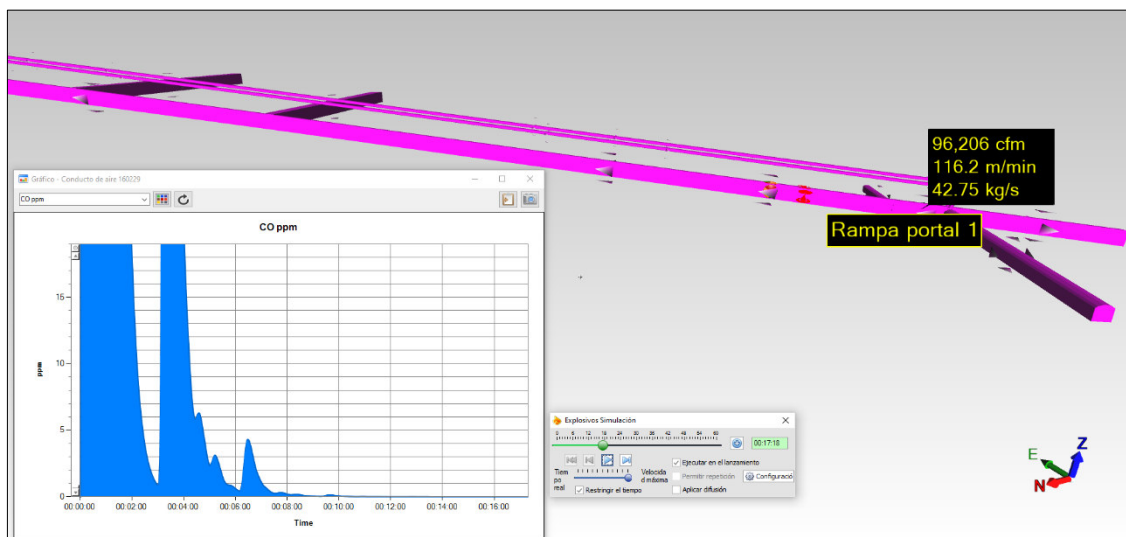
Etapa previa 01 - Evaluación de simulación de explosivos.

La etapa previa 01 comprende únicamente la simulación del avance en rampas de 5.0 x 5.0 m, los parámetros de evaluación de explosivos son los siguientes:

- **Rampa Portal 1:** Se observa en la evaluación de la rampa 01 un tiempo de evacuación de gases del frente correspondiente a 10 minutos para que el personal pueda volver a acceder al frente de trabajo con condiciones de cantidad de monóxido de carbono CO equivalente a cero 0.

Figura 24.

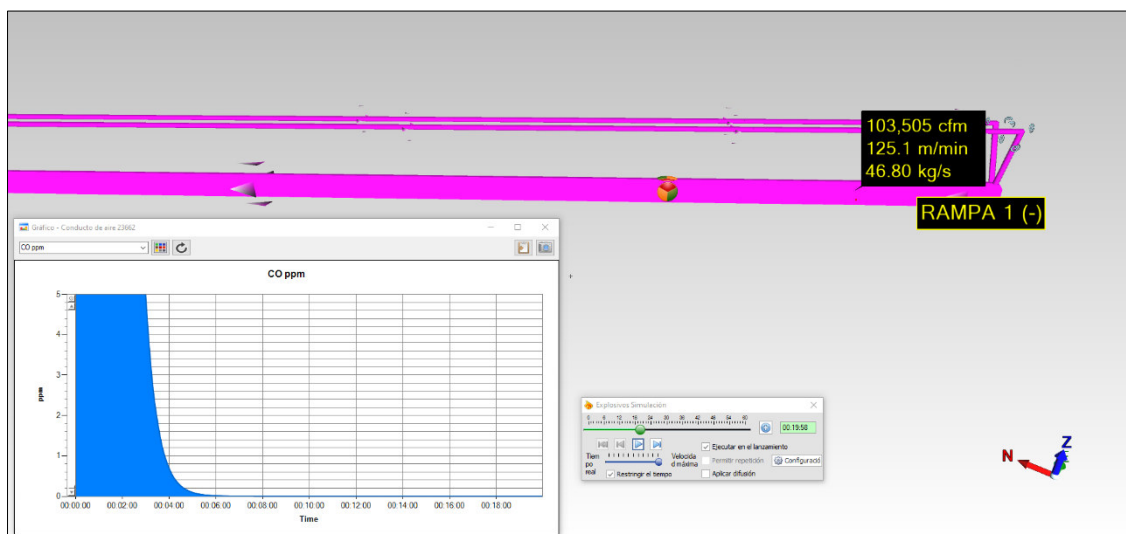
Resultados de simulación de explosivos en la Rampa portal 1 - Etapa previa 01.



- **Rampa Portal Lupillos (-):** Se observa en la evaluación de la rampa 01 un tiempo de evacuación de gases del frente correspondiente a 06 minutos para que el personal pueda volver a acceder al frente de trabajo con condiciones de cantidad de monóxido de carbono CO equivalente a cero 0.

Figura 25.

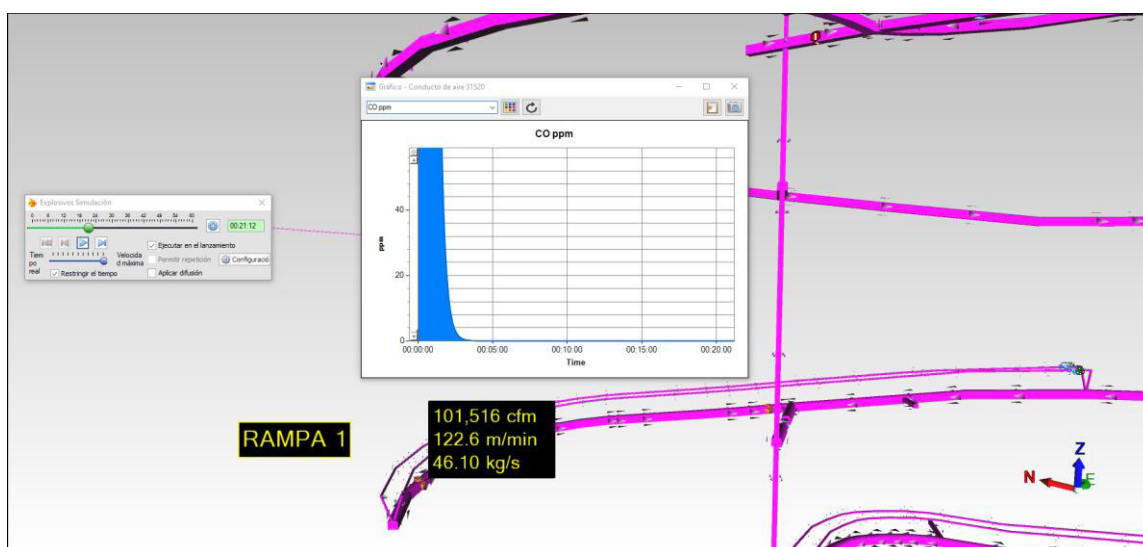
Resultados de simulación de explosivos en la Rampa 1 (-) - Etapa previa 01



- **Rampa 1 (-):** Se observa en la evaluación de la rampa 01 un tiempo de evacuación de gases del frente correspondiente a 06 minutos para que el personal pueda volver a acceder al frente de trabajo con condiciones de cantidad de monóxido de carbono CO equivalente a cero 0.

Figura 26.

Resultados de simulación de explosivos en la Rampa 1 (+) - Etapa previa 01.



En la siguiente tabla se muestra el resumen de todas las labores correspondientes a la Etapa Previa 01, con respecto a la evacuación de gases obtenidas de simulaciones mostradas anteriormente.

Tabla 16.

Resumen Etapa Previa 01 - Evacuación de gases

Resumen etapa previa 01 - 04.10.2022					
Labor	Sección (m x m)	Tipo de explosivo	Cantidad de explosivos (Kg)	Tiempo de evacuación de frente (min)	Tiempo de evacuación de punto de acceso (min)
Rampa Portal 1	5.0 x5.0	70/30 ANFO/Emulsión	280	15	5
Rampa Portal 2	5.0 x5.0	70/30 ANFO/Emulsión	280	8	6
Rampa 1	5.0 x5.0	70/30 ANFO/Emulsión	280	5	4
Rampa 2(+)	5.0 x5.0	70/30 ANFO/Emulsión	280	6	8
Rampa 2 (-)	5.0 x5.0	70/30 ANFO/Emulsión	280	6	4

Se realizó la misma simulación de explosivos para las demás Etapas Previas del 01 al 09 obteniéndose los siguientes tiempos de culminación de extracción de gases CO en los frentes de trabajo y en los puntos de accesibilidad a la labor.

Tabla 17.

Análisis de tiempo de extracción de los frentes de trabajo y de los puntos de accesibilidad a la labor según etapas.

[illegible]

Acc Rampa 4 (+)	20 / 25
Acc Rampa 4 (-)	5 / 7
Rp 4 Nv 1328	20 / 20

Nota. En la tabla mostrada, EPV significa “Etapa Previa” y T. Evac significa “Tiempo de evacuación”

Etapas Principales - Evaluación de simulación de explosivos.

En las Etapas Principales del 1 al 4 de la mina se ha concretado la integración de todas las rampas entre sí, es por eso que se han realizado análisis de la cantidad de CO en las chimeneas de salida debido a la gran cantidad de frentes de explotación que presentan las etapas, y en la cual se han analizado 2 evaluaciones cuando el nivel de CO se encuentra en 50 ppm y cuando es cero 0 ppm. En cada uno de los pozos de extracción.

Evaluación de Etapa Principal 01

En esta etapa de la mina solo se consideran cinco (05) pozos de extracción principal debido a la ejecución pendiente de los otros pozos de ventilación estos son los siguientes con sus correspondientes tiempos de evacuación de CO:

Tabla 18.

Tiempo de evacuación - Etapa Principal 1

Ubicación	Código de Pozo	T. evacuación gases (min) Etapa 01
Rp 01	CV-02	8
	CV-08	7
Rp 02	CV-01	10
	CV-13	S/E
Rp 03	CV-09	10
	CV-16	S/E
Rp 04	CV-11	8
	CV-15	S/E

Figura 27.

Simulación de explosivos en mina La Terronera anterior al disparo de los frentes

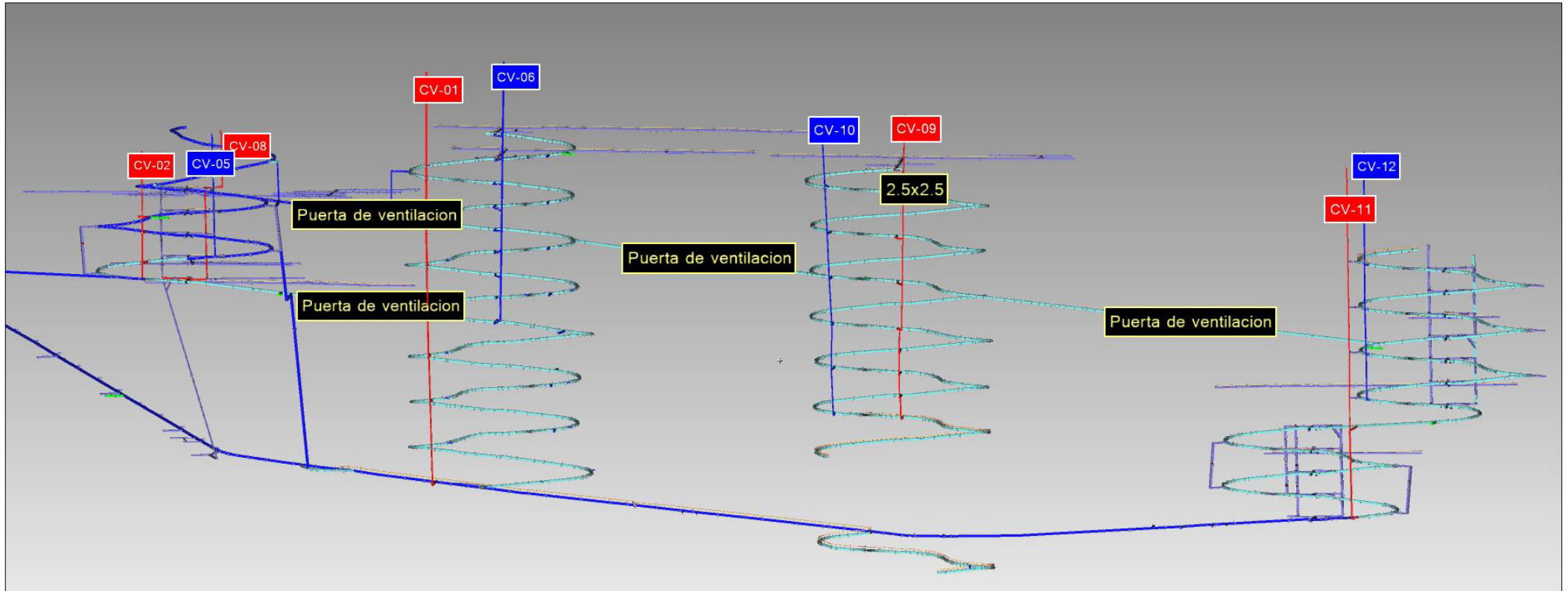
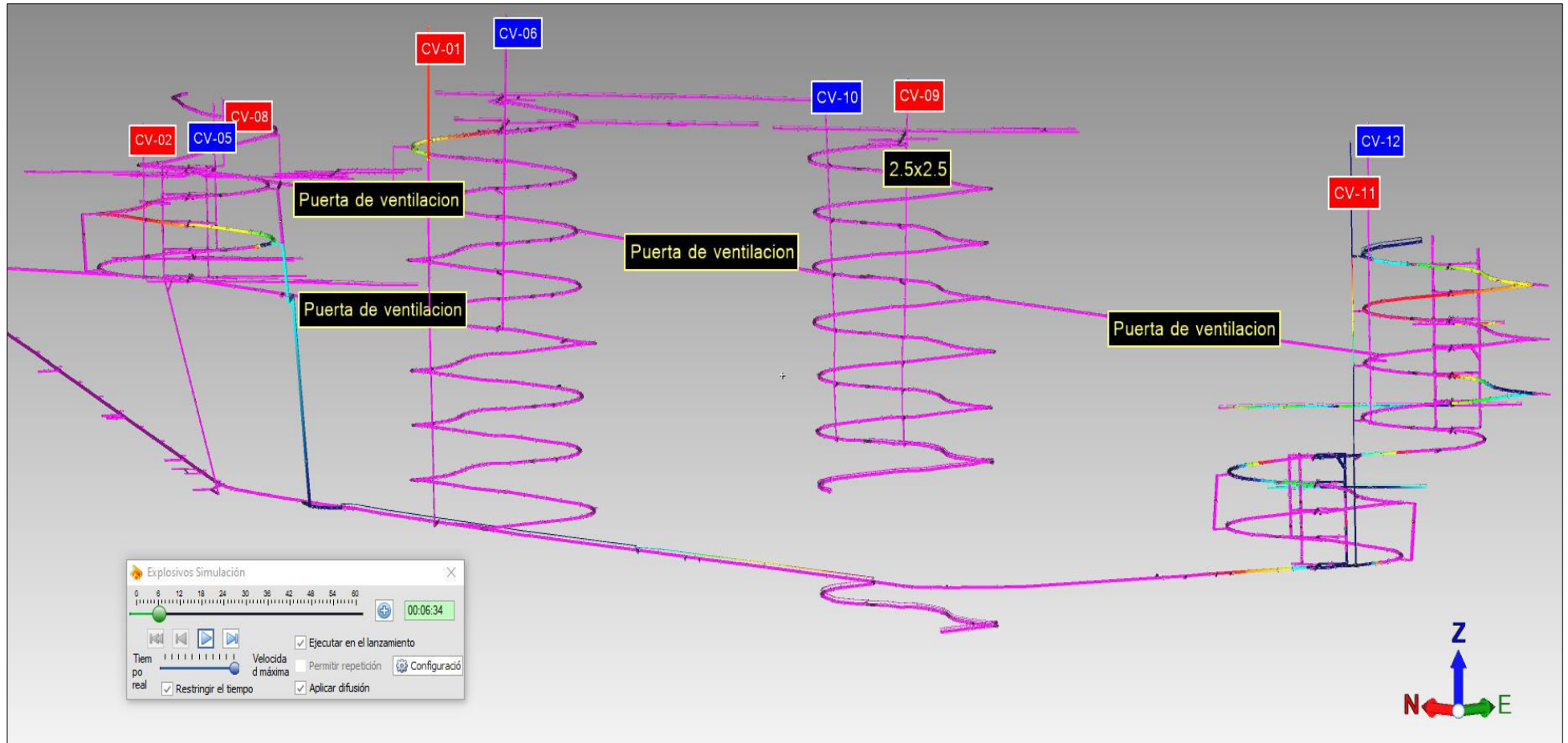


Figura 28.

Simulación de explosivos en mina La Terronera a 5 minutos posterior al disparo de los frentes.



CV-02 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 8 minutos respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura.

Gráfico 4.

Cronograma de evacuación de gases de CO global posterior al disparo.

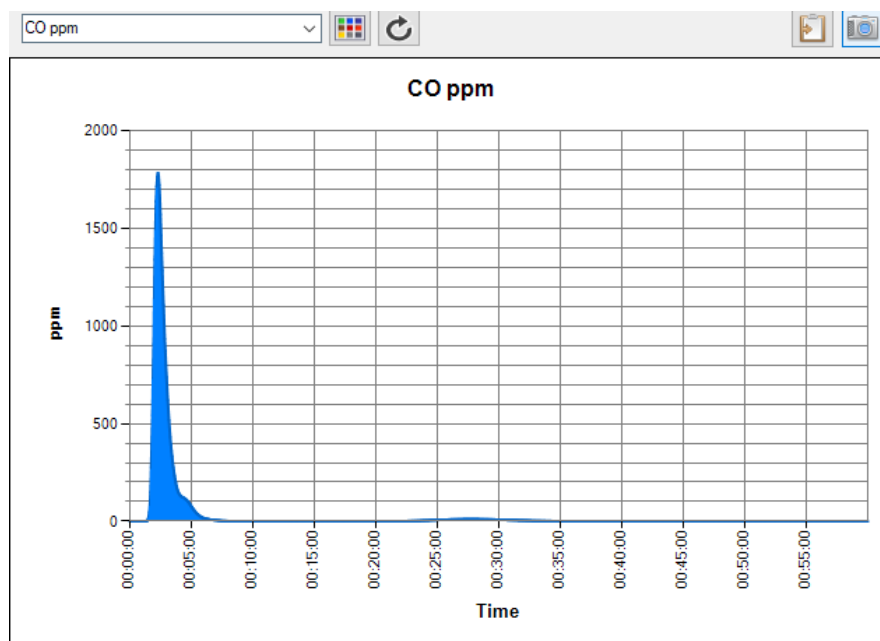
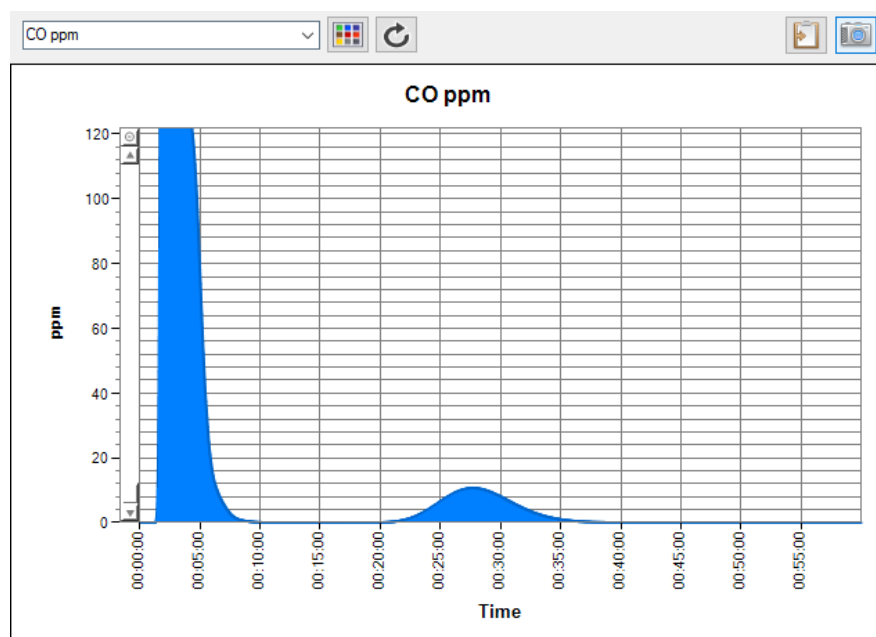


Gráfico 5.

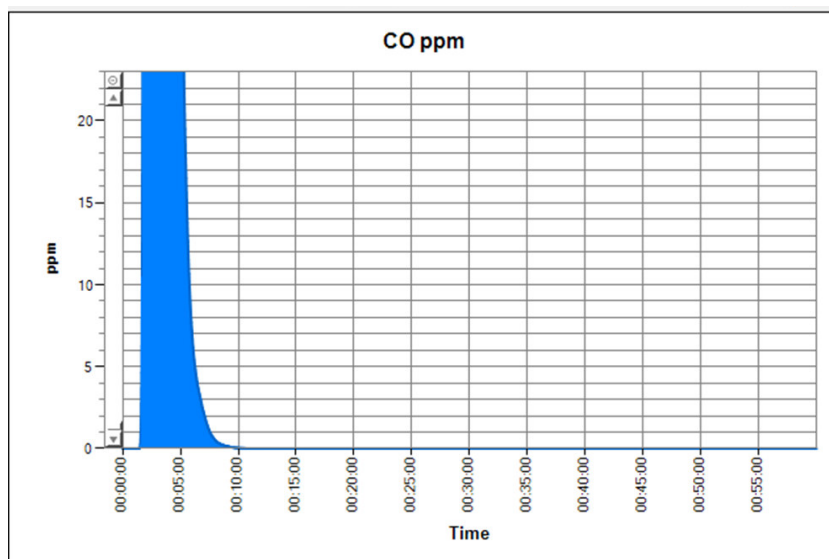
Análisis de 0 a 120 ppm de CO posterior al disparo en el pozo: CV-02.



CV-08 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 8 minutos respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura.

Gráfico 6.

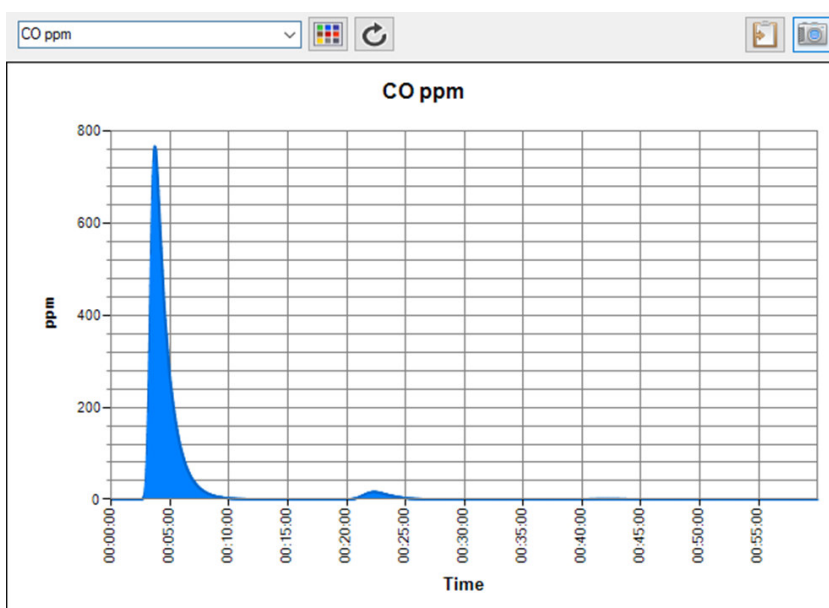
Cronograma de evacuación de gases de CO de 0 a 20 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-08.



CV-01 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 10 minutos respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura.

Gráfico 7.

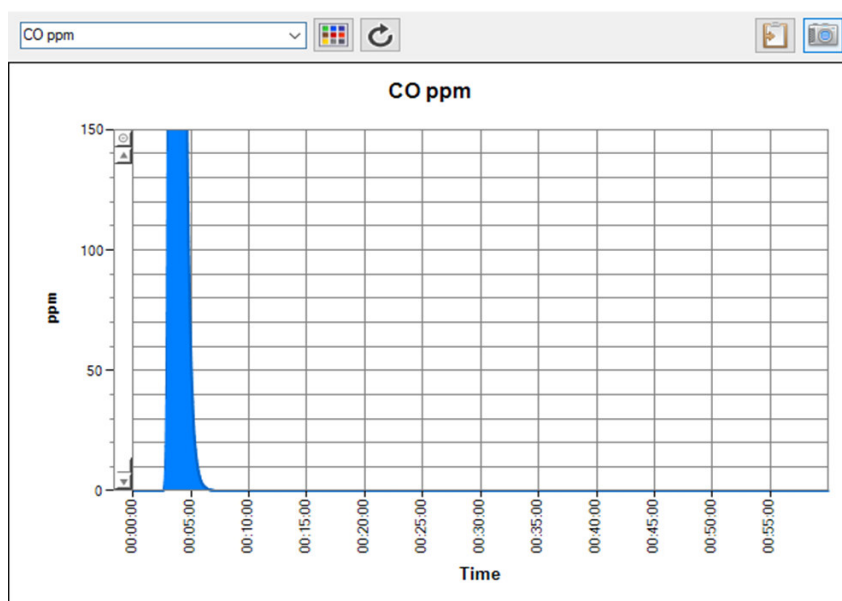
Cronograma de evacuación de gases de CO en ppm posterior al disparo en el pozo: CV-01.



CV-09 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 10 minutos respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura.

Gráfico 8.

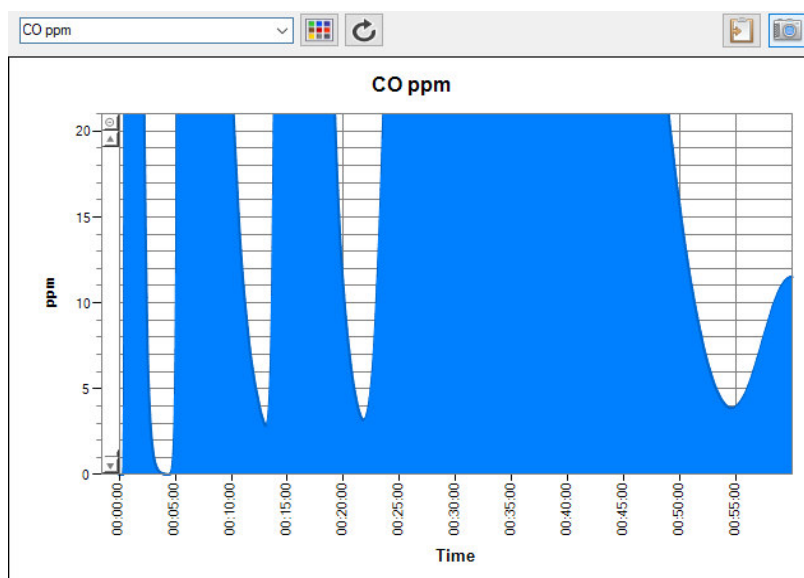
Cronograma de evacuación de gases de CO en ppm posterior al disparo en el pozo: CV-09.



CV-11 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 8 minutos respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura.

Gráfico 9.

Cronograma de evacuación de gases de CO en ppm posterior al disparo en el pozo: CV-11.



Se realizó la misma simulación de explosivos para las demás etapas principales obteniéndose los siguientes tiempos de culminación de extracción de gases CO en la mina teniendo un tiempo de máxima evacuación correspondiente a un máximo de 55 minutos para la Etapa 02.

Tabla 19.

Tiempos de evacuación de monóxido en pozos de extracción según etapas principales.

Ubicación	Código de Pozo	Tiempo de evacuación de gases en minutos			
		Etapas 01	Etapas 02	Etapas 03	Etapas 04
Rp 01	CV-02	8	20	0	0
	CV-08	7	15	0	0
Rp 02	CV-01	10	55	0	50
	CV-13	S/E	55	45	0
Rp 03	CV-09	10	55	10	50
	CV-16	S/E	S/E	45	30
Rp 04	CV-11	40	25	0	0
	CV-15	S/E	10	0	0
Tiempo máximo de extracción en minutos		40	55	45	50

Simulación de sistemas de ventilación bajo demanda (VOD)

Un sistema ventilación bajo demanda (Ventilation on Demand, VoD), está basado en el principio filosófico de saber en qué parte de la mina y en qué horario se requiere una cantidad específica de aire para ventilar las principales zonas de producción y preparación.

Esta metodología de trabajo ocupa altos potenciales para el ahorro en 2 secciones

- Salud ocupacional: Mejora en la condición ambiental favorece la productividad, difícil de medir de forma tangible.
- Producción: Tiempos de reingreso a las labores y cantidad de áreas habilitadas simultáneamente, medible en costo de ahorro de energía consumida.

Es así que, con la finalidad de determinar un ahorro energético, ha clasificado horarios de funcionamiento de ventiladores principales de 300 Kcfm ubicados en los pozos de ventilación de codificación CV-13 y CV-16 con una variación de frecuencia de funcionamiento modificada según horario coordinado con la empresa ENDEAVOUR SILVER CORP, esto con el objetivo de reducir el costo de ventilación y generar un ahorro potencial en el sistema integral de ventilación de la mina La Terronera.

Tipos de escenarios de simulación con variaciones de frecuencia

Se ha determinado 2 escenarios para la simulación con sistemas VOD con la finalidad de desarrollar 2 casos de evaluación de ahorro de energía, estos son:

Escenario de moderado impacto

En este circuito se realizó cambios en el funcionamiento de los ventiladores principales con una variación del 70% y 80% para ambos, con la finalidad de analizar el cambio de consumo energético según horarios de funcionamiento bajo un previo análisis en evaluación de tiempos de trabajo de personal y equipos en interior mina.

Variación de parámetros de los ventiladores principales

1. Caudal. - El caudal emitido en cada ventilador será modificado en disminución al porcentaje de variación obteniéndose intervalos de cantidad máxima de 328 668 cfm y mínimos de 229 186 cfm, a lo cual es importante mencionar que estas variaciones no merman la cobertura del sistema integral ya que se están simulando en un horario donde los equipos aun no inician su laboreo o en tiempos de descanso.

2. Presión. - La presión ejercida por los ventiladores será modificadas directamente proporcional al cambio de variación de frecuencia a rangos menores a 100%, esto no será representativo como un cambio sustancial en el circuito de ventilación porque esta correlacionado a la cantidad de caudal emitida por el ventilador.

3. Potencia. - Este parámetro es el indicador de cada ventilador en el cual recae el análisis de ahorro energético al ser el factor de medición que disminuirá y se relacionará como múltiplo con el costo unitario de energía equivalente a \$ 0.166KW/hora.

4. Costo. - Es el indicador efectivo de ahorro de energía en comparativa a un escenario donde los ventiladores funcionan al 100% de su frecuencia en toda la guardia.

Por lo cual las variaciones en las propiedades técnicas de los ventiladores bajo este esquema para el escenario de impacto moderado se detallan en la siguiente tabla y gráficos.

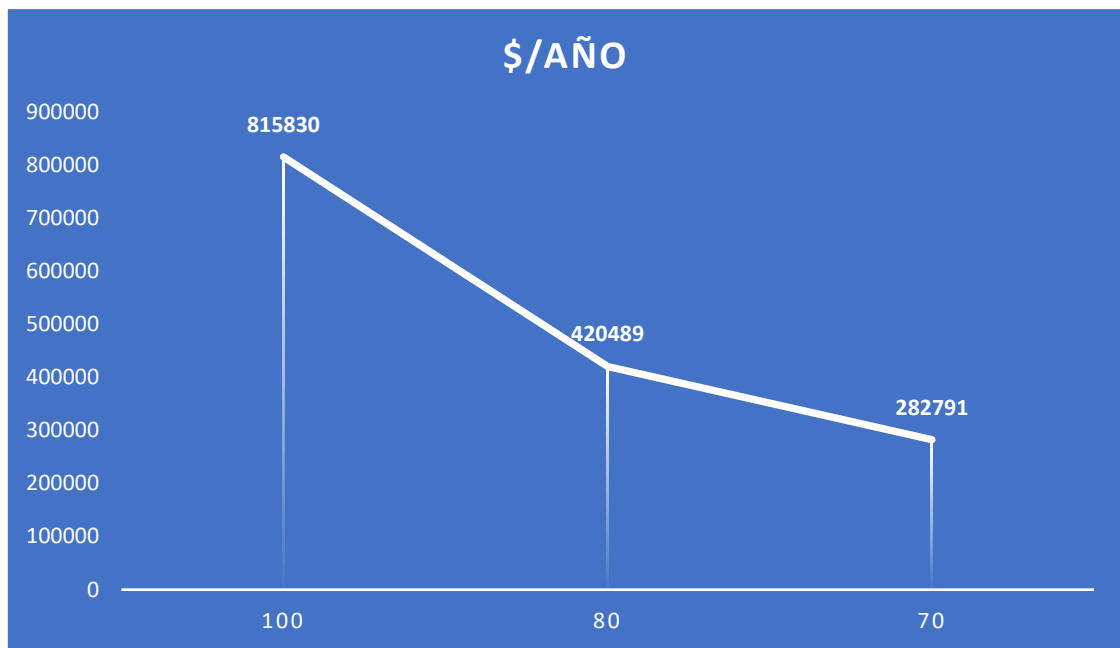
Tabla 20.

Propiedades técnicas de ventiladores según variación de frecuencia

Vent. Princ.	%Variación	Caudal	Presión	Potencia	Potencia	Costo		
CV-13 eje de extracción rampa 02	100	Kcfm	in.w.g	HP	kW	\$/año	\$/día	\$/hora
		328	5.9	390.1	291	423	1	48.4
		668				804	161	
	80	Kcfm	in.w.g	HP	kW	\$/año	\$/día	\$/hora
		262	3.8	201.1	150	218	599	24.9
		410				523		
	70	kcfm	in.w.g	HP	kW	\$/año	\$/día	\$/hora
		229	2.9	135.4	101	147	403	16.8
		186				088		

Gráfico 10.

\$/año según % de variación – Eje de extracción

**Gráfico 11.**

\$/día según % de variación – Eje de extracción

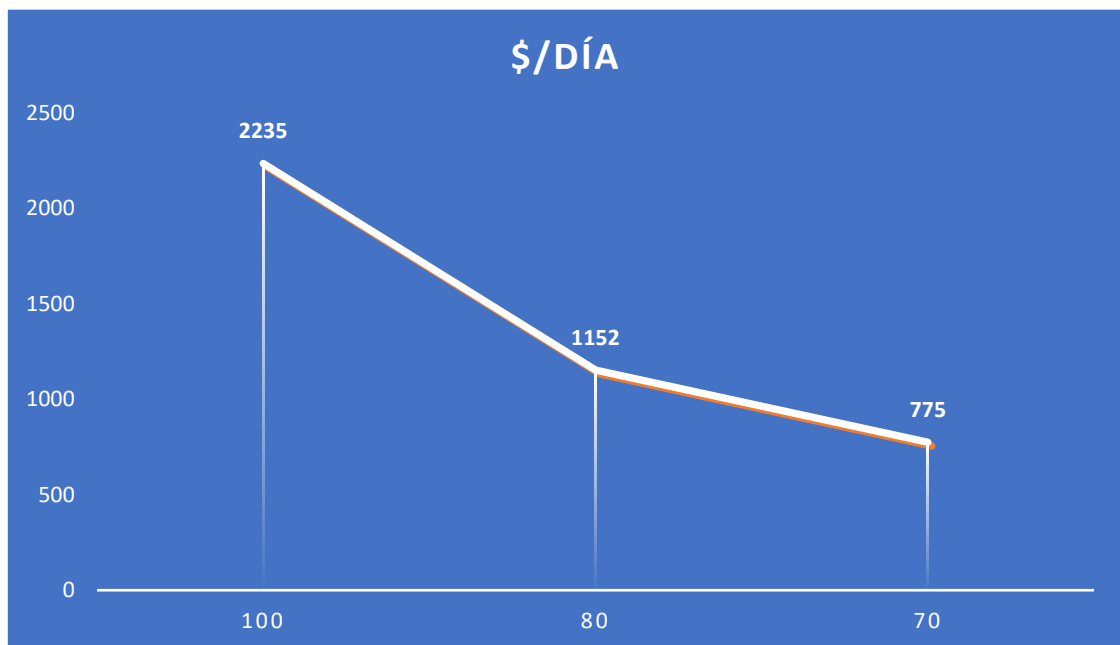


Gráfico 12.

\$/hora según % de variación – Eje de extracción

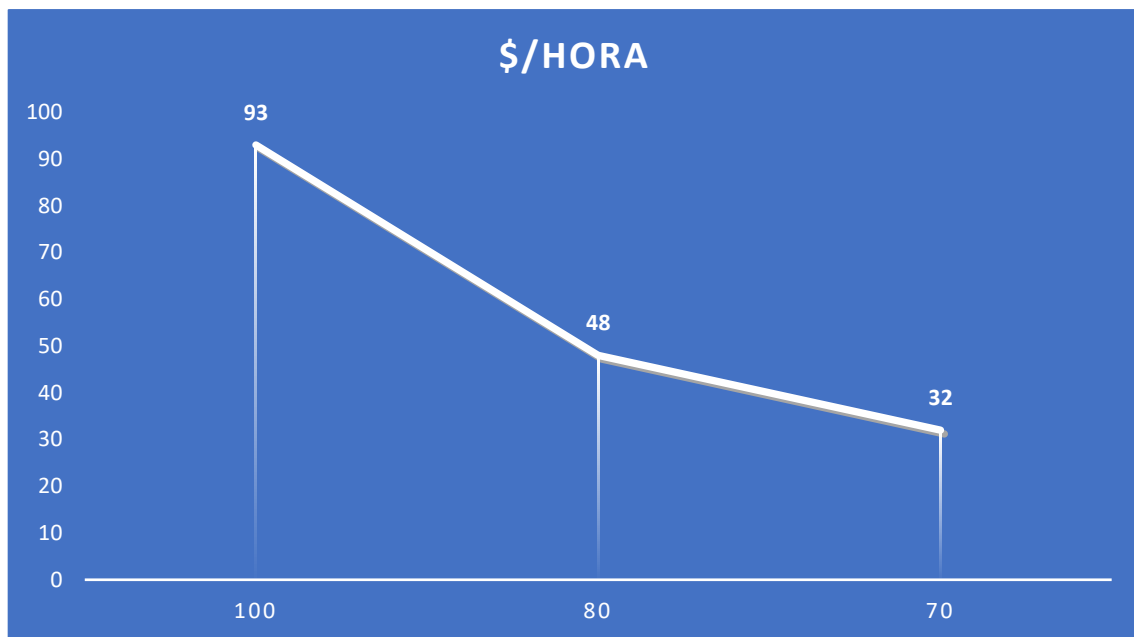


Figura 29.

Análisis de variación de frecuencia de 80% y 70% al ventilador principal ubicado en el pozo CV-13.

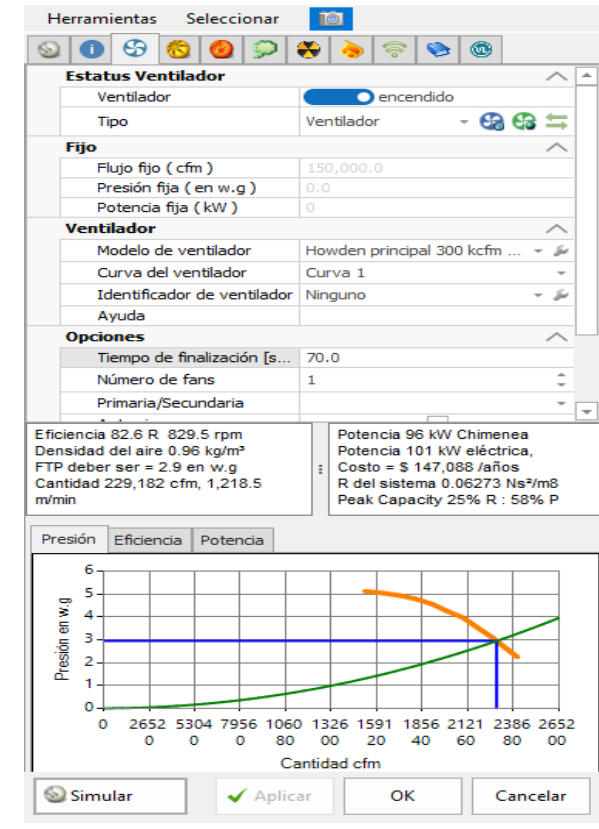
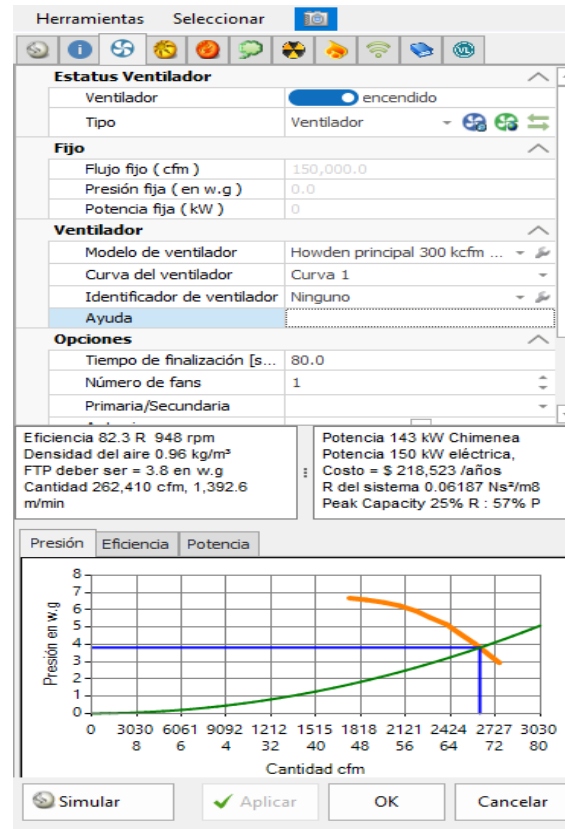
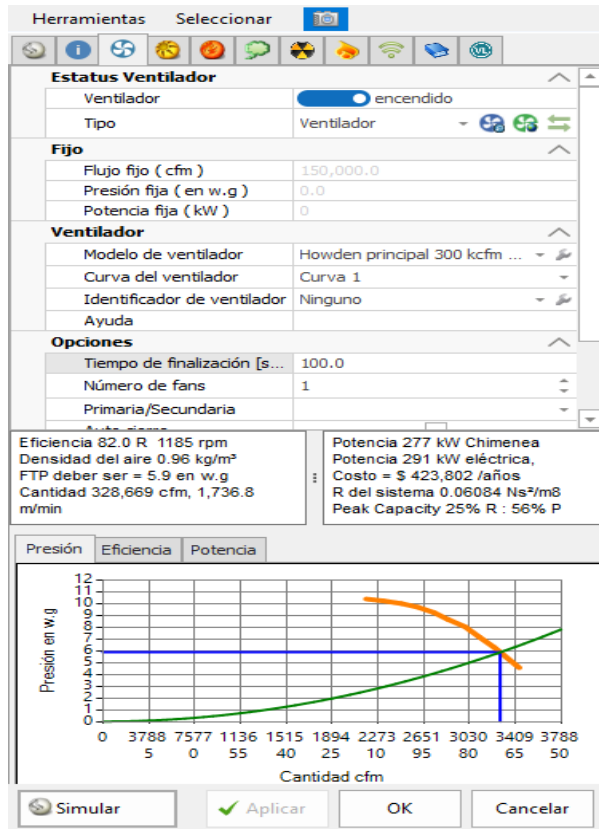


Figura 30.

Análisis de variación de frecuencia de 80% y 70% al ventilador principal ubicado en el pozo CV-16.

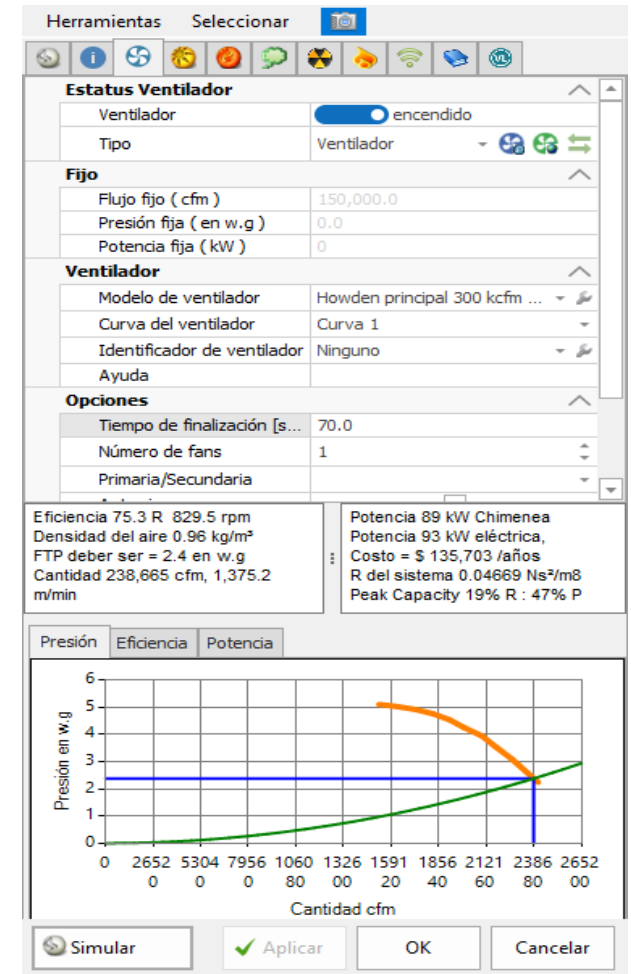
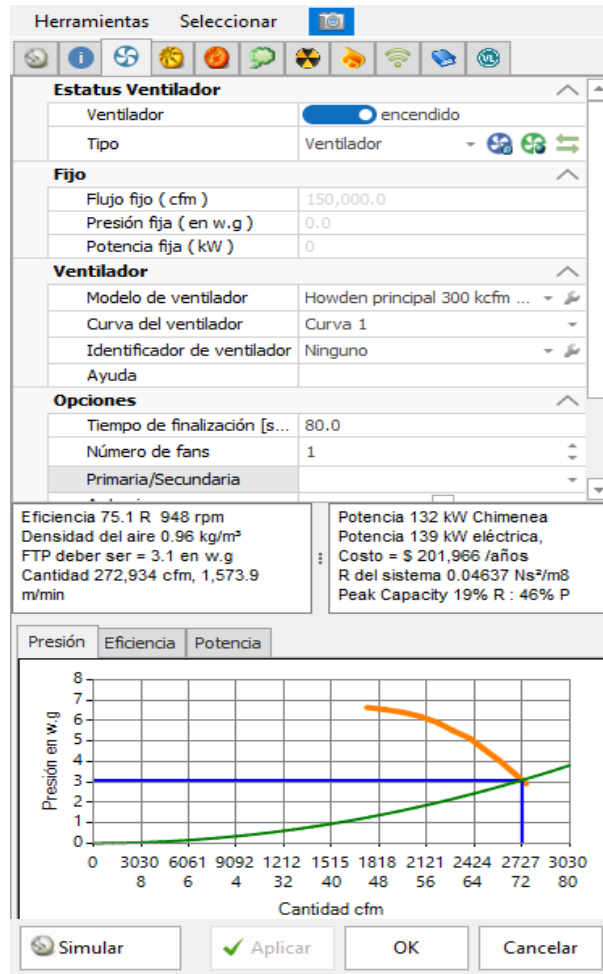
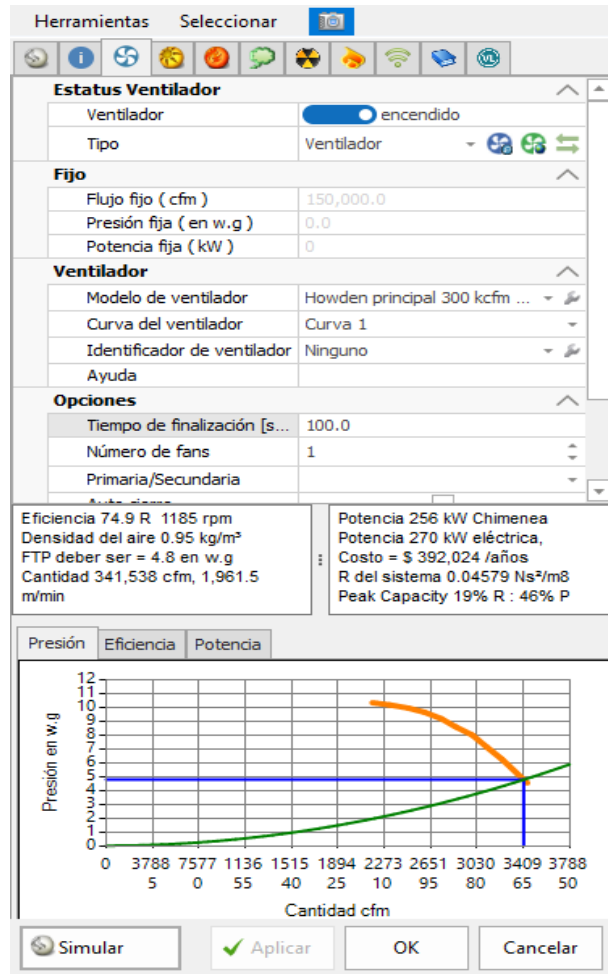
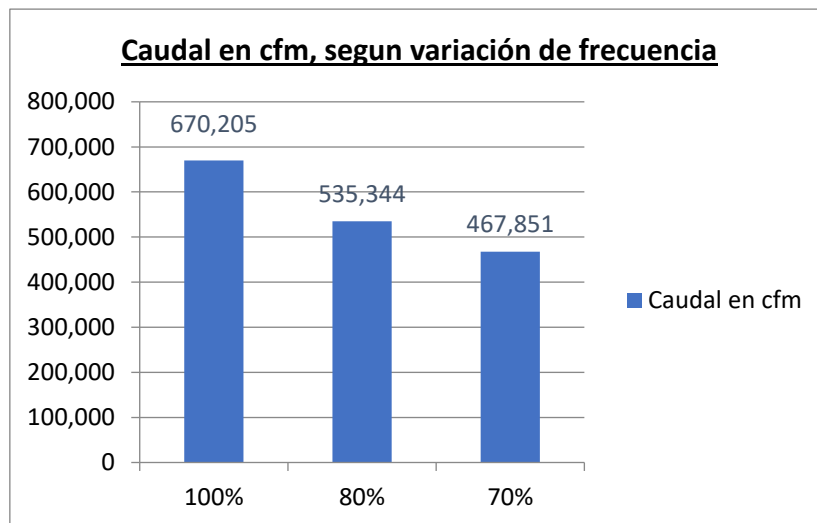
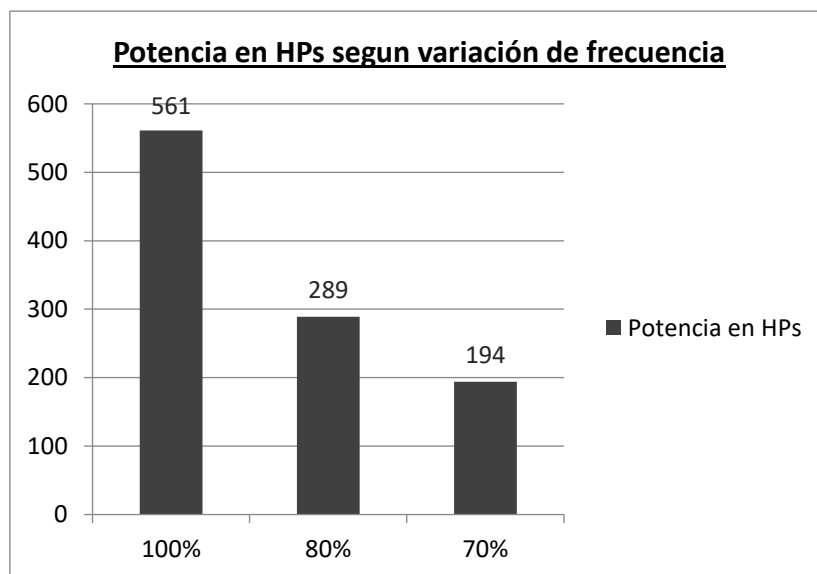


Gráfico 13.

Caudal de ambos ventiladores - Variación de frecuencia al 80% y 70%

**Gráfico 14.**

Potencia de ambos ventiladores - Variación de frecuencia al 80% y 70%



Es importante identificar la variación porcentual del consumo de consumo de energía y asimismo la variación del costo de energía es por ello que se realiza la siguiente tabla de identificadores de energía según porcentaje de funcionamiento para ambos ventiladores principales de 300 Kcfm, obteniéndose así una potencia consumida de 289 KW y un costo de energía 48 \$/hora para el funcionamiento de ambos

ventiladores al **80%** y de análisis semejante una potencia consumida de 194 KW y 32 \$/hora para un funcionamiento de **70%**.

Tabla 21.

Análisis ventiladores principales

	VARIACION	CAUDAL	PRESION	POTENCIA		COSTO		
	%	kcfm	in.w.g	HP	kW	\$/año	\$/día	\$/hora
Análisis de ventiladores principales	100	670,205	11	752	561	815,830	2,235	93
	80	535,344	7	387	289	420,489	1,152	48
	70	467,851	5	260	194	282,791	775	32

Gráfico 15.

\$/año según % de variación - Ventiladores Principales

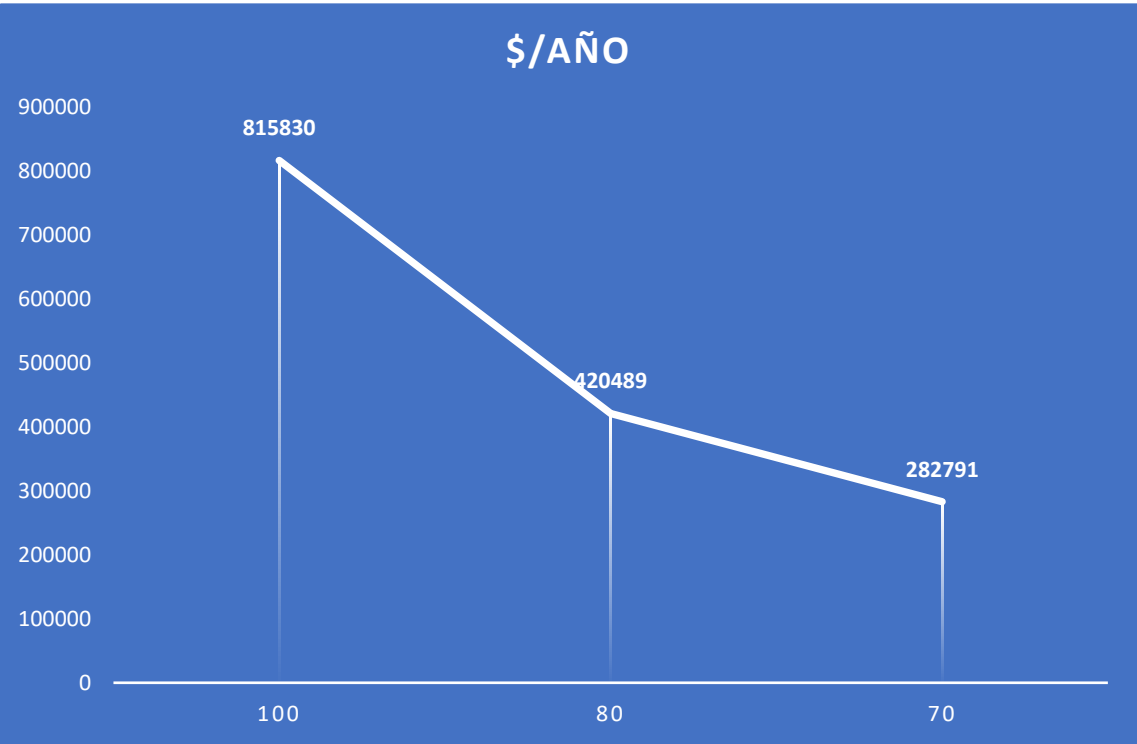


Gráfico 16.

\$/día según % de variación - Ventiladores Principales

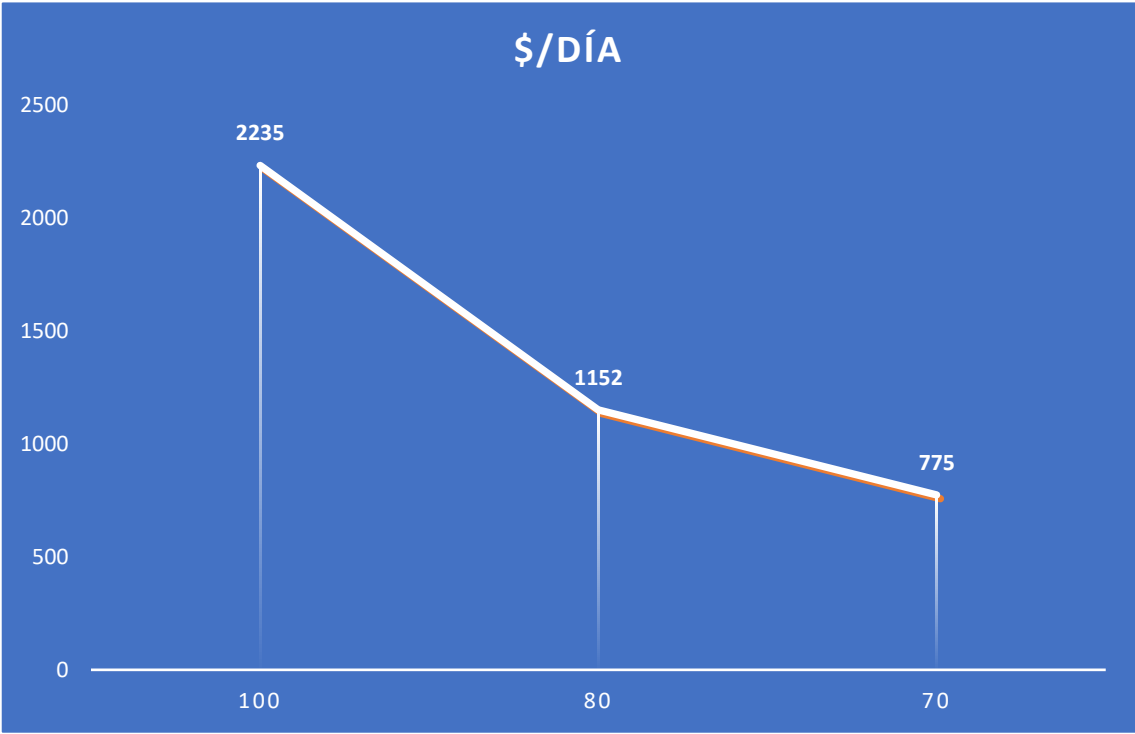
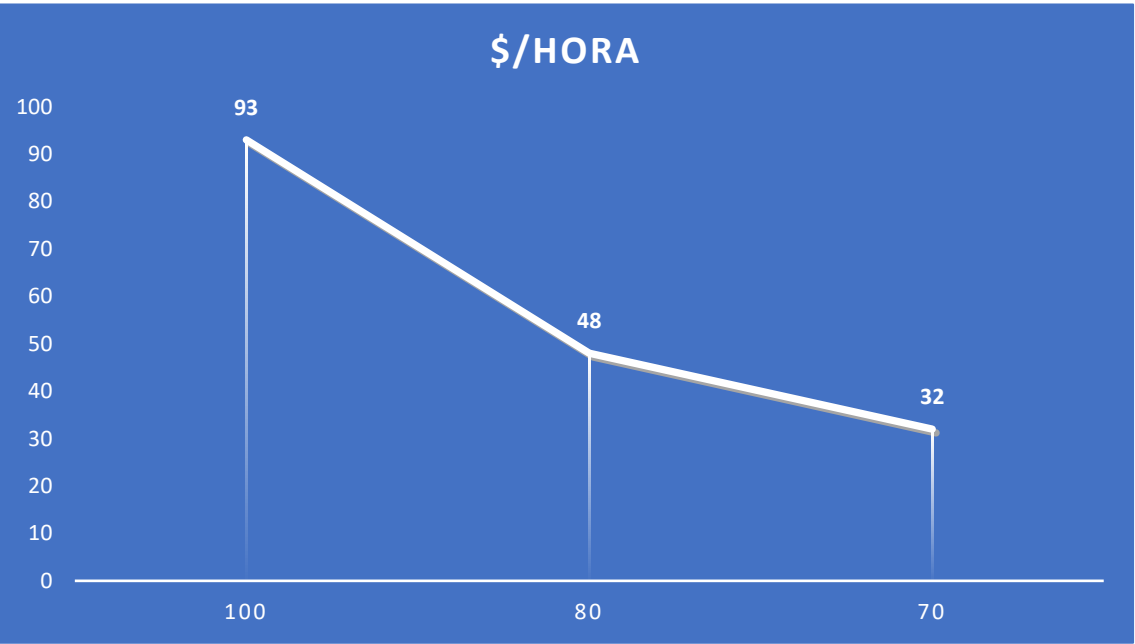


Gráfico 17.

\$/hora según % de variación - Ventiladores Principales



Horario de guardia de mina “La Terronera”

Es necesario identificar las funciones que corresponden a una guardia normal en este proyecto por lo cual se detalla a continuación las funciones relacionadas con cada hora correspondiente de una guardia cuyo inicio corresponde a las 7 am y finaliza a las 17 horas para tener un tiempo de ventilación correspondiente a 2 horas efectivas, tiempo en donde se establece la evacuación de todo el personal hacia superficie.

Tabla 22.

Horario de guardia mina "La Terronera"

Hora		Actividad
07:00:00	08:00:00	Reparto de Guardia Traslado
08:00:00	09:00:00	Pers/Check list
09:00:00	10:00:00	Producción
10:00:00	11:00:00	Producción
11:00:00	12:00:00	Producción
12:00:00	13:00:00	Refrigerio
13:00:00	14:00:00	Traslado a labores
14:00:00	15:00:00	Producción
15:00:00	16:00:00	Producción
16:00:00	17:00:00	Producción
17:00:00	18:00:00	Voladura/Ventilación
18:00:00	19:00:00	Ventilación

Horario de guardia de mina La Terronera con variación al 80% y 70 %

Bajo este escenario se determinó un horario de aplicación de variación de frecuencia a los ventiladores principales de 300 Kcfm, estableciendo cambios de 80% de funcionamiento 1 hora después de ejecutarse el disparo (6 a 7am y pm) y en la hora de refrigerio (12 a 1 pm), asimismo se realizó un cambio al 70% de funcionamiento al inicio de cada guardia (7 a 8 am y pm).

Tabla 23.*Horario de guardia mina "La Terronera" - Aplicando variaciones*

Item	Hora		Actividad	Variador %RPM	Potencia KW	Costo \$/hora
1	00:00:00	01:00:00	Producción	100%	561	93
2	01:00:00	02:00:00	Producción	100%	561	93
3	02:00:00	03:00:00	Producción	100%	561	93
4	03:00:00	04:00:00	Producción	100%	561	93
5	04:00:00	05:00:00	Producción	100%	561	93
6	05:00:00	06:00:00	Voladura/Ventilación	100%	561	93
7	06:00:00	07:00:00	Ventilación	80%	289	48
8	07:00:00	08:00:00	Reparto de Guardia	70%	194	32
9	08:00:00	09:00:00	Traslado Pers/Check	70%	194	32
			list			
10	09:00:00	10:00:00	Producción	100%	561	93
11	10:00:00	11:00:00	Producción	100%	561	93
12	11:00:00	12:00:00	Producción	100%	561	93
13	12:00:00	13:00:00	Refrigerio	80%	289	48
14	13:00:00	14:00:00	Traslado a labores	100%	561	93
15	14:00:00	15:00:00	Producción	100%	561	93
16	15:00:00	16:00:00	Producción	100%	561	93
17	16:00:00	17:00:00	Producción	100%	561	93
18	17:00:00	18:00:00	Voladura/Ventilación	100%	561	93
19	18:00:00	19:00:00	Ventilación	80%	289	48
20	19:00:00	20:00:00	Reparto de Guardia	70%	194	32
21	20:00:00	21:00:00	Traslado Pers/Check	70%	194	32
			list			
22	21:00:00	22:00:00	Producción	100%	561	93
23	22:00:00	23:00:00	Producción	100%	561	93
24	23:00:00	00:00:00	Producción	100%	561	93

Gráfico 18.

Potencias Vs horas diarias al 80% y 70 de variación de frecuencia en ventiladores principales.



Gráfico 19.

Variador %rpm Vs horas diarias al 80% y 70 de variación de frecuencia en ventiladores

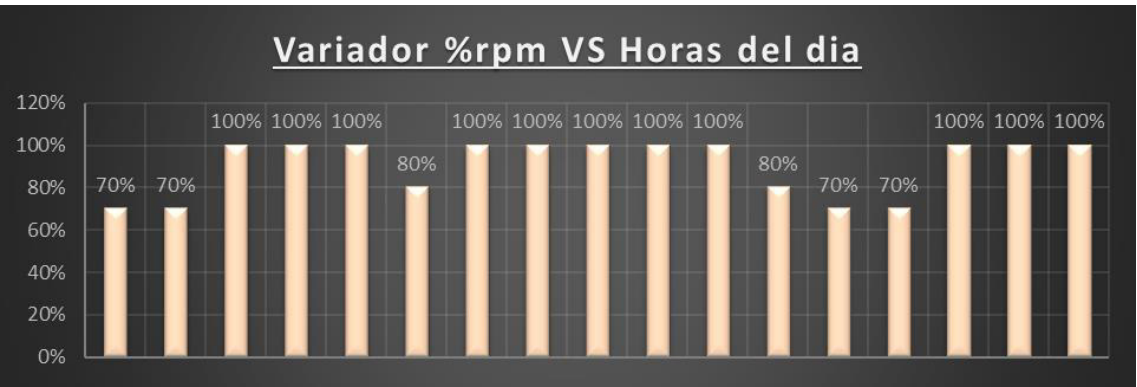
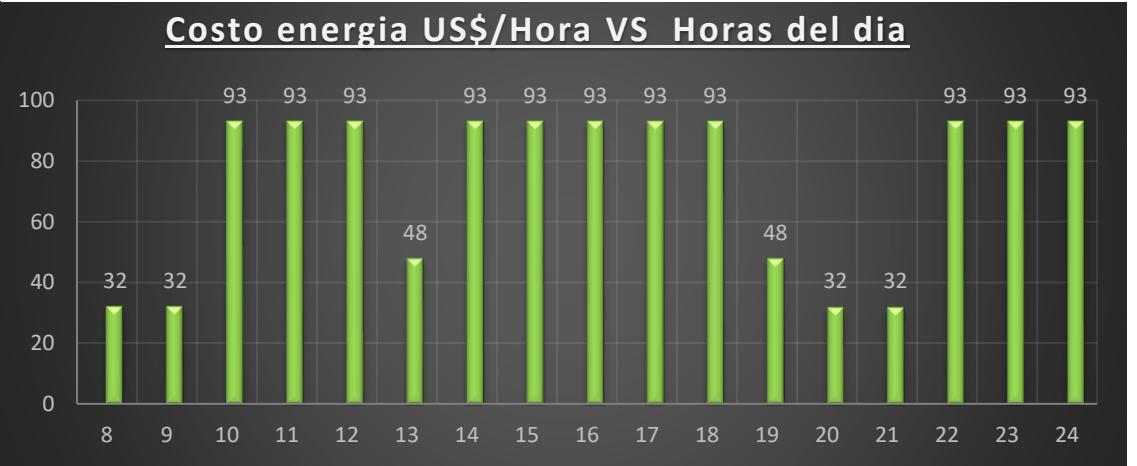


Gráfico 20.

Costo energía \$/hora Vs horas diarias al 80% y 70 de variación de frecuencia en ventiladores



Análisis de ahorro de energía

Bajo estas condiciones de variación en el escenario de frecuencia de moderado impacto se establece un ahorro de energía anual de 138 464 USD con lo cual analizando un tiempo de utilización de 5 años equivale a un ahorro total de 692 319 USD tal como se detalla en la tabla siguiente.

Tabla 24.

Análisis ahorro de energía al 80% y 70 de variación de frecuencia

Costo de energía	Diario	Mensual	Anual
Sin uso de variador de frecuencia US\$	2 235	67 986	815 830
Con uso de variador de frecuencia US\$	1 856	56 447	677 366
Ahorro uso de variador de frecuencia US\$	379	11,539	138 464
Costo total de ahorro vida de producción 5 años			692 319

Escenario alto impacto

En este circuito se realizó cambios en el funcionamiento de los ventiladores principales con una variación de 50% y 40% con la finalidad de analizar el cambio de consumo energético a un mayor grado e influencia se siguen tomando en cuenta los horarios de funcionamiento según evaluación de tiempos de trabajo de personal y equipos en interior mina.

Por lo cual las variaciones en las propiedades técnicas de los ventiladores bajo este esquema se detallan en la siguiente tabla y gráficos.

Tabla 25.*Escenario - Alto impacto*

Ventiladores principales	Variación	Caudal	Presión	Potencia		Costo		
	%	Kcfm	in.w.g	Hp	Kw	\$/año	\$/día	\$/hora
CV-13	100	328 668	5.9	390.1	291	423 804	1 161	48.4
	50	163 076	1.5	49.6	37	54 095	148	6.2
	40	129 928	1	25.5	19	27 919	76	3.2
CV-16	100	341 537	4.8	361.9	270	392 026	1 074	45
	50	170 213	1.2	45.6	34	49 742	136	6
	40	136 047	0.8	24.1	18	25 540	70	2.9

Figura 31.

Análisis de variación de frecuencia de 50% y 40% al ventilador principal ubicado en el pozo CV-13.

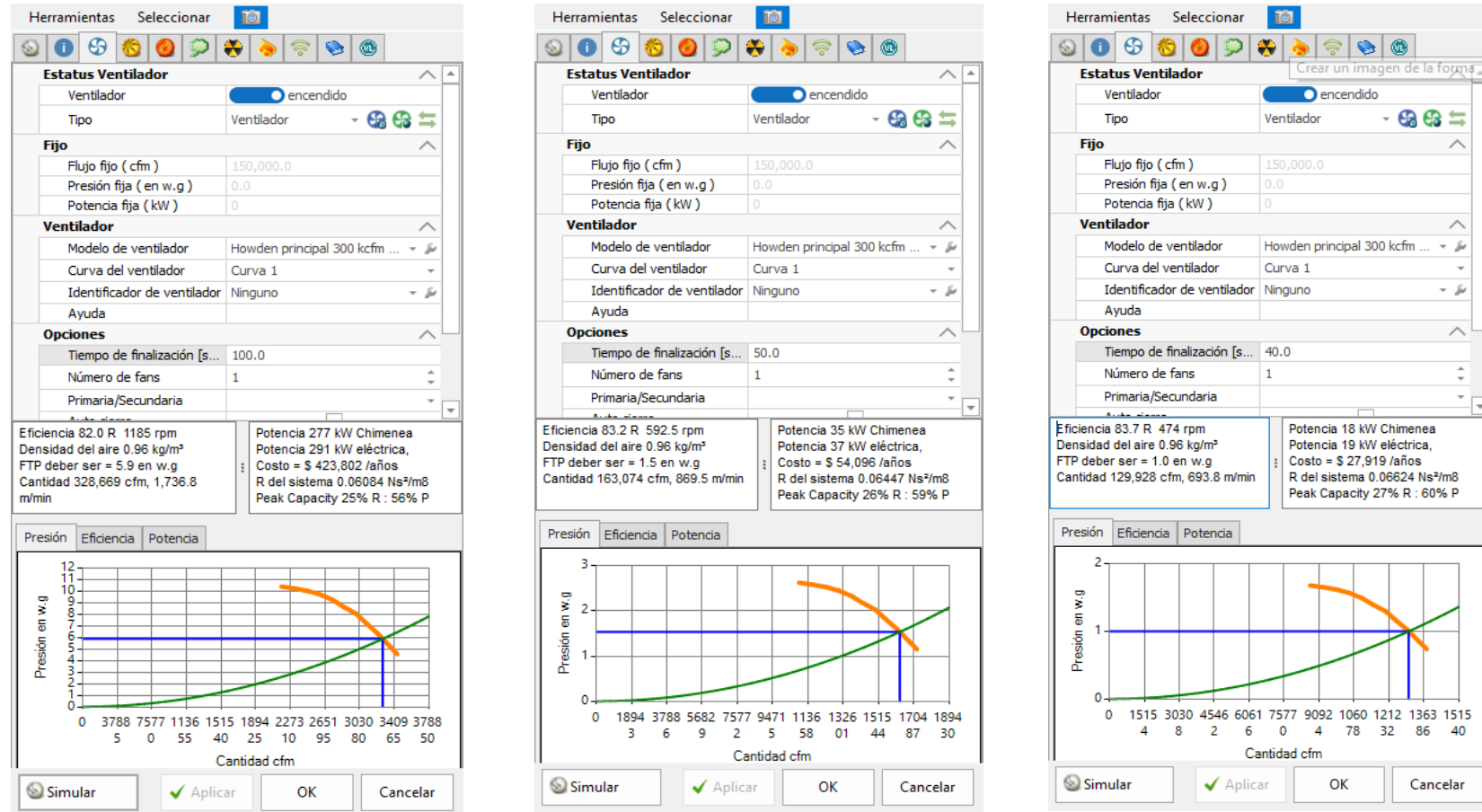


Figura 32.

Análisis de variación de frecuencia de 50% y 40% al ventilador principal ubicado en el pozo CV-16.

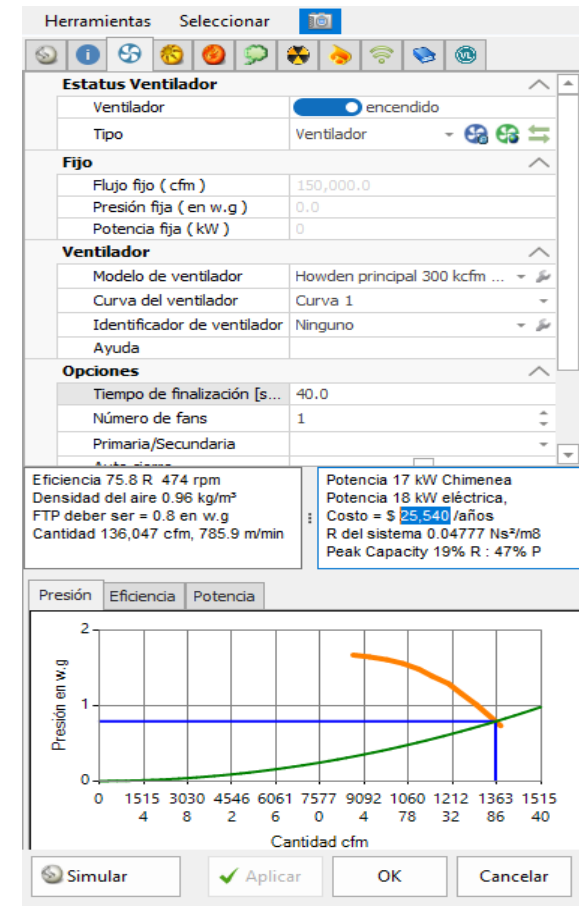
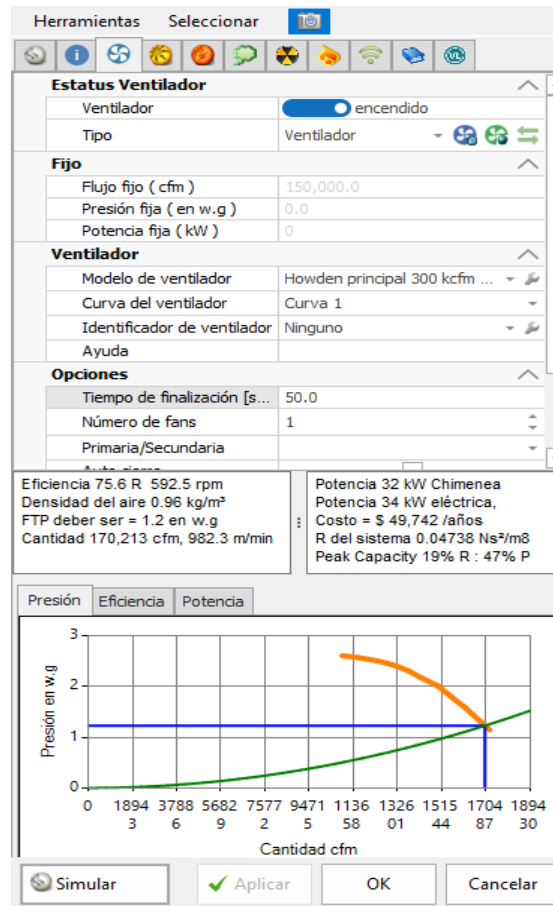
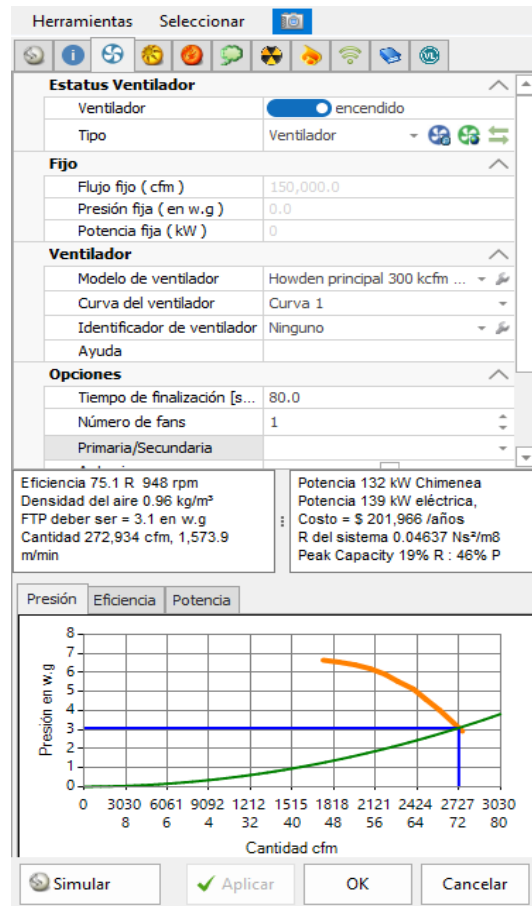
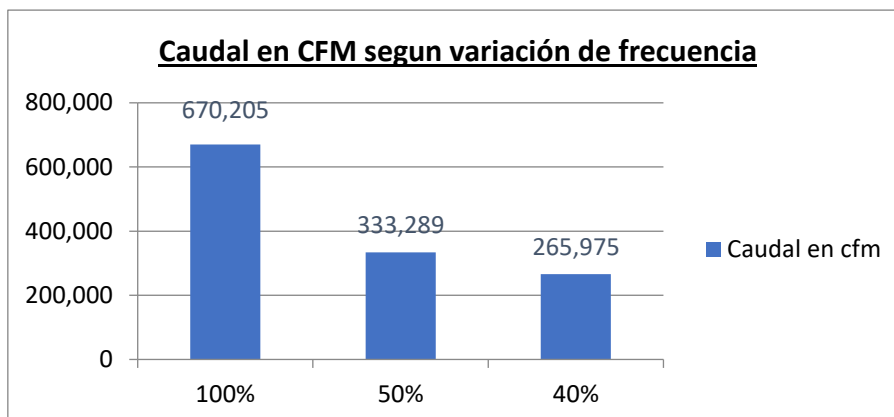
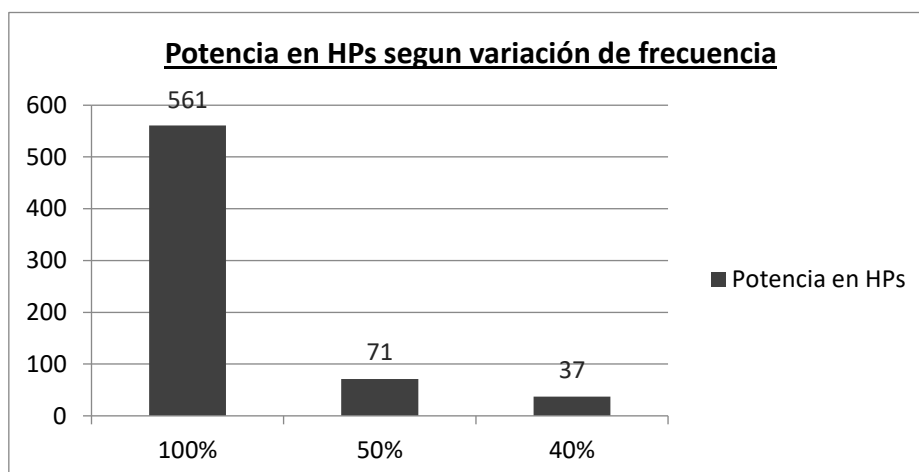


Gráfico 21.

Caudal - Variación de frecuencia de 50% y 40%.

**Gráfico 22.**

Potencia - Variación de frecuencia de 50% y 40%.



Es importante identificar la variación porcentual del consumo de consumo de energía y asimismo la variación del costo de energía es por ello que se realiza la siguiente tabla de identificadores de energía según porcentaje de funcionamiento para ambos ventiladores principales de 300 Kcfm, obteniéndose así una potencia consumida de 71 w y un costo de energía 12 \$/hora para el funcionamiento de ambos ventiladores al **50%** y de análisis semejante una potencia consumida de 37 Kw y 6 \$/hora para un funcionamiento de **40%**.

Tabla 26.*Análisis ventiladores principales.*

	Resumen	Caudal	Presión	Potencia	Costo			
Análisis de	Variación	Kcfm	in.w.g	HP	Kw	\$/año	\$/día	\$/hora
ventiladores principales	1	670,205	11	752	561	815,830	2,235	93
	1	333,289	3	95	71	103,837	284	12
	0	265,975	2	50	37	53,459	146	6

Horario de guardia de mina La Terronera con variación al 50% y 40 %

Bajo este escenario se determinó un horario de aplicación de variación de frecuencia a los ventiladores principales de 300 Kcfm, estableciendo cambios de 50% de funcionamiento 1 hora después de ejecutarse el disparo (6 a 7am y pm) y en la hora de refrigerio (12 a 1 pm), asimismo se realizó un cambio al 40% de funcionamiento al inicio de cada guardia (7 a 8 am y pm).

Tabla 27.*Horario de guardia mina "La Terronera" - Aplicando variaciones*

Ítem	Hora		Actividad	Variador %RPM	Potencia KW	Costo \$/hora
1	00:00:00	01:00:00	Producción	100%	561	93
2	01:00:00	02:00:00	Producción	100%	561	93
3	02:00:00	03:00:00	Producción	100%	561	93
4	03:00:00	04:00:00	Producción	100%	561	93
5	04:00:00	05:00:00	Producción	100%	561	93
6	05:00:00	06:00:00	Voladura/Ventilación	100%	561	93
7	06:00:00	07:00:00	Ventilación	50%	71	12
8	07:00:00	08:00:00	Reparto de Guardia	40%	37	6
9	08:00:00	09:00:00	Traslado Pers/Check list	40%	37	6
10	09:00:00	10:00:00	Producción	100%	561	93
11	10:00:00	11:00:00	Producción	100%	561	93
12	11:00:00	12:00:00	Producción	100%	561	93
13	12:00:00	13:00:00	Refrigerio	50%	71	12
14	13:00:00	14:00:00	Traslado a labores	100%	561	93

15	14:00:00	15:00:00	Producción	100%	561	93
16	15:00:00	16:00:00	Producción	100%	561	93
17	16:00:00	17:00:00	Producción	100%	561	93
18	17:00:00	18:00:00	Voladura/Ventilación	100%	561	93
19	18:00:00	18:30:00	Ventilación	50%	71	12
20	19:00:00	20:00:00	Reparto de Guardia	40%	37	6
21	20:00:00	21:00:00	Traslado Pers/Check list	40%	37	6
22	21:00:00	22:00:00	Producción	100%	561	93
23	22:00:00	23:00:00	Producción	100%	561	93
24	23:00:00	00:00:00	Producción	100%	561	93

Gráfico 23.

Potencias Vs horas diarias

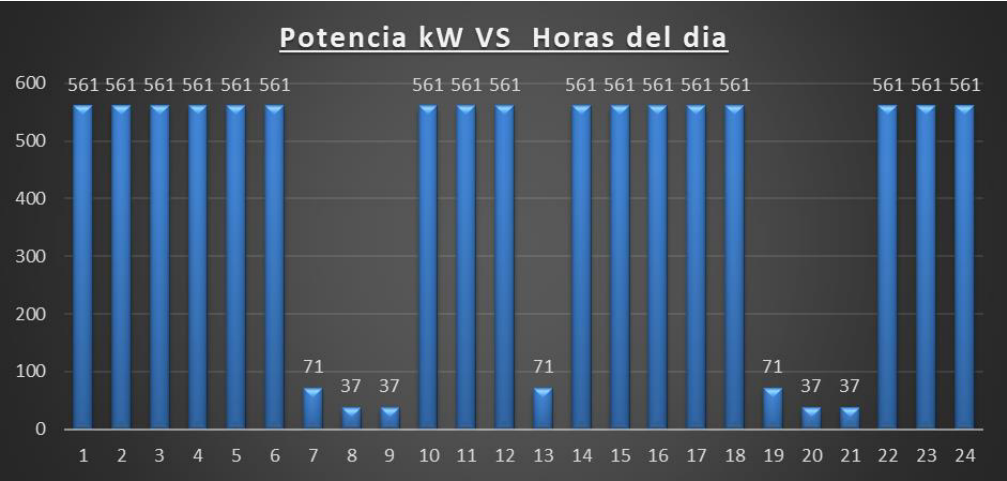


Gráfico 24.

Variador %rpm Vs horas diarias



Gráfico 25.

Costo energía \$/hora Vs horas diarias.



Análisis de ahorro de energía

Bajo estas condiciones de variación de frecuencia se establece un ahorro de energía anual de 216 098 USD con lo cual analizando un tiempo de utilización de 5 años de 1 080 492 USD tal como se detalla en la tabla siguiente. equivale a un ahorro total.

Tabla 28.

Análisis de ahorro de energía con uso de variador de frecuencia para cambios al 50 y 40 %.

Costo de energía	Diario	Mensual	Anual
Sin uso de variador de frecuencia US\$	2 235	67 986	815 830
Con uso de variador de frecuencia US\$	1 643	49 978	599 732
Ahorro uso de variador de frecuencia US\$	592	18,008	216 098
Costo total de ahorro vida de producción 5 años			1 080 492

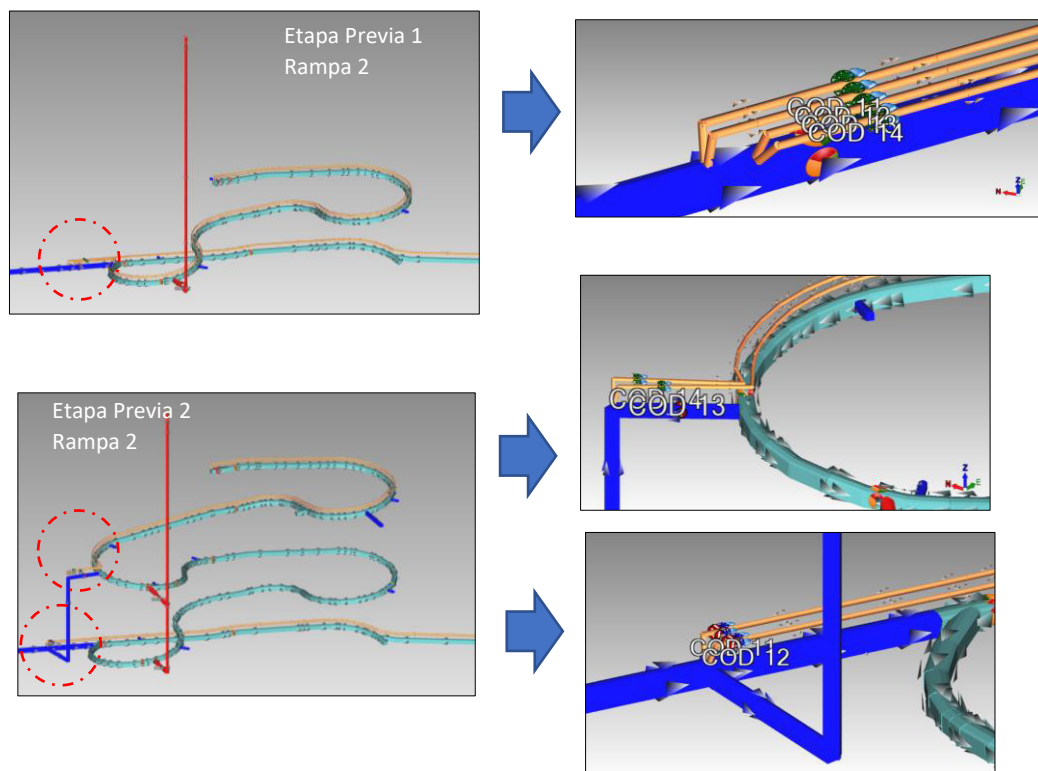
Operación y secuencia de encendido y apagado de Ventiladores “La Terronera”
(Schedule)

Se presentan los ventiladores comprendidos a lo largo del proyecto de “La Terronera”. Para su mejor ubicación y control, a cada ventilador se le asignó un código que permitirá su reconocimiento, estos códigos inician con las siglas COD y sigue una secuenciación numérica. Se muestran en las ilustraciones que estos ventiladores a

pesar de ser reubicados mantienen su codificación y no será necesaria la compra de nuevos ventiladores ya que se cuentan con ellos en stock.

Figura 33.

Codificación de ventiladores



Las tablas mostradas a continuación muestran el número de días totales de funcionamiento para cada ventilador codificado, ello desarrollado a partir del análisis de avances de labores de construcción y desarrollo en mina. Cada ventilador se ha encendido estratégicamente para la expulsión del aire viciado y así superar la cobertura de aire proyectada. Se ha fijado fechas de funcionamiento encendido/apagado para cada ventilador. En el schedule compartido se muestra la simultaneidad de ventiladores en operación y el apagado o desinstalación de otros, según lo determinen las necesidades de operación en base al Lom (Life of mine). Es preciso indicar que cuando los ventiladores se encuentran en funcionamiento y a medida que se va incrementando las zonas operativas, es necesario la adición de nuevos ventiladores para que se llegue a suplir el déficit de inventario y llegar al cumplimiento de stock de ventiladores en todas

las labores de mina donde se realice laboreo, los ventiladores que se van adicionando reciben una nueva codificación que sigue la secuencia de ventiladores anteriormente clasificados independientemente del tipo de funcionalidad (principal, secundario o auxiliar) y de sus propiedades técnicas (caudal, presión o potencia) .

Descripción: Para el ventilador con codificación COD 01 Tabla 29. indica que el ventilador se encuentra en funcionamiento en la “Etapa Previa 1”, un total de 275 días comprendidos entre la fecha inicial de la “Etapa Previa 01” 03/01/2022 hasta la fecha final: 04/10/2022, en este caso coincide con el total de días de toda la etapa por ello se fija un porcentaje de funcionamiento de 100% y se le aplica de estado FUNCIONAL; una diferencia a esto es un ejemplo que se puede apreciar en la Tabla 30. que tiene por fecha de funcionamiento del 01/03/2022 al 04/10/2022 con un porcentaje de funcionalidad del 79% FUNCIONAL.

Tabla 29.*Funcionamiento ventilador COD 01*

INICIO / FIN ETAPA					ENCENDIDO / APAGADO VENTILADORES				
ETAPA	Codificación	Fecha inicio etapa	Fecha fin etapa	Nro. de días etapa	Fecha de encendido	Fecha de apagado	Nro. de días funcionamiento	Porcentaje de funcionamiento	Estado ventilador
Etapa Previa 1	COD 01	3/01/2022	4/10/2022	275	3/01/2022	4/10/2022	275	100%	FUNCIONAL

Tabla 30.*Funcionamiento ventilador COD 05*

INICIO / FIN ETAPA					ENCENDIDO / APAGADO VENTILADORES				
ETAPA	Codificación	Fecha inicio etapa	Fecha fin etapa	Nro. de días etapa	Fecha de encendido	Fecha de apagado	Nro. de días funcionamiento	Porcentaje de funcionamiento	Estado ventilador
Etapa Previa 1	COD 05	3/01/2022	4/10/2022	275	1/03/2022	4/10/2022	218	79%	FUNCIONAL

El tercer caso Tabla 31. muestra el ventilador COD 03 apagado para la “Etapa Previa 2”, este caso por lo tanto muestra un 0% de funcionalidad.

Tabla 31.*Funcionamiento ventilador COD 03*

INICIO / FIN ETAPA					ENCENDIDO / APAGADO VENTILADORES				
ETAPA	Codificación	Fecha inicio etapa	Fecha fin etapa	Nro. de días etapa	Fecha de encendido	Fecha de apagado	Nro. de días funcionamiento	Porcentaje de funcionamiento	Estado ventilador
Etapa Previa 2	COD 03	5/10/2022	10/11/2022	37	APAGADO	APAGADO	0	0%	APAGADO

A continuación, se muestra el secuenciamiento del uso de ventiladores de la “Etapa Previa 4” donde se observa el estado de funcionalidad (apagado, desinstalado o en funcionamiento) de cada uno de los ventiladores codificados hasta dicho momento, según tabla siguiente:

Tabla 32.

Secuenciación de ventiladores Etapa Previa 4 - Schedule

Ventilador	Ventilador	ETAPA 4	ETAPA 4	ETAPA 4	ETAPA 4	ETAPA 4	ETAPA 4	ETAPA 4	ETAPA 4	ETAPA 4	ETAPA 4	ETAPA 4	ETAPA 4	ETAPA 4	Días funcionamiento
Capacidad	Código	26/11/2022	27/11/2022	28/11/2022	29/11/2022	30/11/2022	1/12/2022	2/12/2022	3/12/2022	4/12/2022	5/12/2022	6/12/2022	7/12/2022	8/12/2022	ETAPA 4
50 000	COD 01	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	0
50 000	COD 02	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	0
50 000	COD 03	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
50 000	COD 04	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
50 000	COD 05	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	0
50 000	COD 06	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	0
120 000	COD 07	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	0
120 000	COD 08	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
50 000	COD 09	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	13
50 000	COD 10	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	13
50 000	COD 11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
50 000	COD 12	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
50 000	COD 13	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
50 000	COD 14	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
120 000	COD 15	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	13
120 000	COD 16	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
120 000	COD 17	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	13

Nota. Según el gráfico se puede observar que F: funcionando, D: desinstalado, y A: apagado

Bajo el mismo sistema, se muestra la secuenciación del uso de ventiladores de la etapa previa 05, se observa el estado de funcionalidad (apagado, desinstalado o en funcionamiento) de cada uno de los ventiladores hasta dicho momento, según la siguiente tabla:

Tabla 33.

Secuenciación de ventiladores Etapa Previa 5 - Schedule

VENTILADOR	VENTILADOR	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	ETAPA 5	Días funcionamiento
CAPACIDAD	CODIGO	9/12/2022	10/12/2022	11/12/2022	12/12/2022	13/12/2022	14/12/2022	15/12/2022	16/12/2022	17/12/2022	18/12/2022	19/12/2022	20/12/2022	21/12/2022	22/12/2022	23/12/2022	ETAPA 5
50 000	COD 01	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	0
50 000	COD 02	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	0
50 000	COD 03	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	15
50 000	COD 04	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	15
50 000	COD 05	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	15
50 000	COD 06	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	15
120 000	COD 07	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	F	1
120 000	COD 08	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	15
50 000	COD 09	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	15
50 000	COD 10	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	15
50 000	COD 11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
50 000	COD 12	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
50 000	COD 13	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
50 000	COD 14	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
60 000	COD 15	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	15
120 000	COD 16	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0
120 000	COD 17	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	15
40 000	COD 18	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	F	1

Nota. Según el gráfico se puede observar que F: funcionando, D: desinstalado, y A: apagado

A continuación, se muestra los días operativos de los ventiladores según etapas de funcionamiento, que se irán utilizando, reubicándose en partes de mina que requieran la instalación de estos componentes en otra ubicación.

Tabla 34.

Días totales de funcionamiento por cada ventilador – Etapas Previas nueve (09)

Ventilador	Etapas Previas 1	Etapas Previas 2	Etapas Previas 3	Etapas Previas 4	Etapas Previas 5	Etapas Previas 6	Etapas Previas 7	Etapas Previas 8	Etapas Previas 9
COD 01	275	0	0	0	0	0	0	21	68
COD 02	275	0	0	0	0	0	0	21	68
COD 03	217	0	0	0	15	52	36	71	70
COD 04	217	0	0	0	15	52	36	71	70
COD 05	218	37	14	0	15	52	36	71	0
COD 06	218	37	14	0	15	52	36	71	0
COD 07	128	0	0	0	1	52	36	71	35
COD 08	86	0	0	0	15	52	36	0	70
COD 09	56	37	15	13	15	38	0	71	0
COD 10	56	37	15	13	15	38	0	71	0
COD 11	10	0	0	0	0	0	36	67	68
COD 12	10	0	0	0	0	0	36	67	68
COD 13	32	34	0	0	0	0	0	46	63
COD 14	32	34	0	0	0	0	0	46	63
COD 15	17	0	15	13	15	52	36	71	70
COD 16	17	37	0	0	0	52	36	48	70
COD 17	DT 1864	DT 253	1	13	15	52	36	71	70
COD 18			DT 74	DT 52	1	33	0	32	45
COD 19					DT 137	19	0	0	70
COD 20						12	0	34	70
COD 21						7	0	0	0
COD 22						2	8	48	42
COD 23						6	27	48	70
COD 24						DT 623	3	71	0
COD 25							2	71	70
COD 26							DT 436	16	37
COD 27								16	37
COD 28								37	37
COD 29								37	68
COD 30								37	63
COD 31								DT 1402	30
COD 32									1
COD 33									49
COD 34									49
COD 35									DT 1591

Nota. Según el gráfico se puede observar que COD: código, DT: días totales

Tabla 35.*Funcionamiento de ventiladores – Por Etapas Principales.*

Ventilador	Etap Principal 1	Etap Principal 2	Etap Principal 3	Etap Principal 4
COD 01	83	0	0	0
COD 02	83	0	0	0
COD 03	0	0	0	0
COD 04	0	0	0	0
COD 05	0	79	0	0
COD 06	0	79	0	0
COD 07	0	0	0	0
COD 08	0	79	0	0
COD 09	19	79	0	0
COD 10	19	79	0	0
COD 11	83	0	0	0
COD 12	83	0	0	0
COD 13	0	0	0	0
COD 14	0	0	0	0
COD 57	83	244	970	1519
COD 16	83	244	1461	1519
COD 17	83	159	0	0
COD 18	0	151	830	1519
COD 19	8	113	1126	857
COD 20	83	120	1183	1331
COD 21	0	243	994	0
COD 22	0	5	549	138
COD 23	0	1	1336	147
COD 24	0	144	1286	0
COD 25	83	244	397	1519
COD 26	83	0	0	0
COD 27	83	0	0	0
COD 28	83	244	0	0
COD 29	0	0	0	0
COD 30	0	0	0	0
COD 31	40	244	1158	1514
COD 32	0	0	0	0
COD 33	31	0	0	0
COD 34	31	0	1461	1519
COD 35	23	134	0	0
COD 36	54	11	596	1447
COD 37	83	244	1461	1519
COD 38	83	244	295	0
COD 39	DT 1387	244	1461	1519
COD 40		15	0	0
COD 41		209	66	0
COD 42		206	1461	127
COD 43		58	1131	1182
COD 44		30	1461	1519
COD 45		27	927	913
COD 46		99	0	0
COD 47		119	0	0
COD 48		31	0	0
COD 49		31	1461	1519
COD 50		79	824	877
COD 51		39	1461	1161
COD 52		1	958	355
COD 53		DT 4372	1392	1519
COD 54			1356	1519
COD 55			DT 29062	0
COD 56				0
				DT 26758

Ventiladores – Stock/Adquisición

A partir del schedule de funcionamiento de los ventiladores proyectamos la cantidad total de ventiladores a usar en toda la vida de la mina, así como los ventiladores en stock y la adquisición de ventiladores a ser utilizados.

Tabla 36.

Cantidad de ventiladores por etapas

		DESARROLLO Y PREPARACIÓN									PREPARACIÓN		PRODUCCIÓN			Total ventiladores
		EPV 1	EPV 2	EPV 3	EPV 4	EPV 5	EPV 6	EPV 7	EPV 8	EPV 9	ET 01	ET 02	ET 03	ET 04		
ITEM	Ventilador (cfm)	4/10/2022	10/11/2022	25/11/2022	8/12/2022	23/12/2022	13/02/2023	21/03/2023	31/05/2023	9/08/2023	31/10/2023	1/07/2024	1/07/2028	1/08/2032		
1	300 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	4	
2	120 000	4	3	4	4	5	5	7	10	10	5	6	3	2	10	
3	60 000	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	8	7	7	8	
4	50 000	12	10	10	8	10	10	8	14	14	10	4	0	0	14	
5	40 000	0	0	0	0	1	6	6	6	8	10	20	15	13	20	
TOTAL		16	13	14	12	16	21	21	30	33	29	38	27	26		

Tabla 37.*Stock/Adquisición de ventiladores por etapas*

Stock /Adquisición de ventiladores														
ITEM	Ventilador (cfm)	EPV 1	EPV 2	EPV 3	EPV 4	EPV 5	EPV 6	EPV 7	EPV 8	EPV 9	ET 01	ET 02	ET 03	ET 04
1	300 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
2	120 000	0	1	0	0	Adquirir 1	0	Adquirir 2	Adquirir 3	0	6	5	8	9
3	60 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Adquirir 3	Adquirir 4	1	1
4	50 000	0	2	2	4	2	2	4	Adquirir 2	0	4	10	0	0
5	40 000	0	0	0	0	0	Adquirir 5	0	0	Adquirir 2	Adquirir 2	Adquirir 10	5	7
STOCK		0	3	2	4	2	2	4	0	0	10	15	18	17
ADQUISICIÓN		0	0	0	0	1	5	2	5	2	5	14	0	0

Análisis Costos Operativos OPEX - Schedule por tapas

Se muestra a continuación la gráfica de Potencias Vs Opex de cada etapa del proyecto. Se puede apreciar que la “Etapa Principal 3” y “Etapa Principal 4” constan de 4 años de duración por lo que muestran valores altos en desproporción con las etapas anteriores.

Gráfico 26.

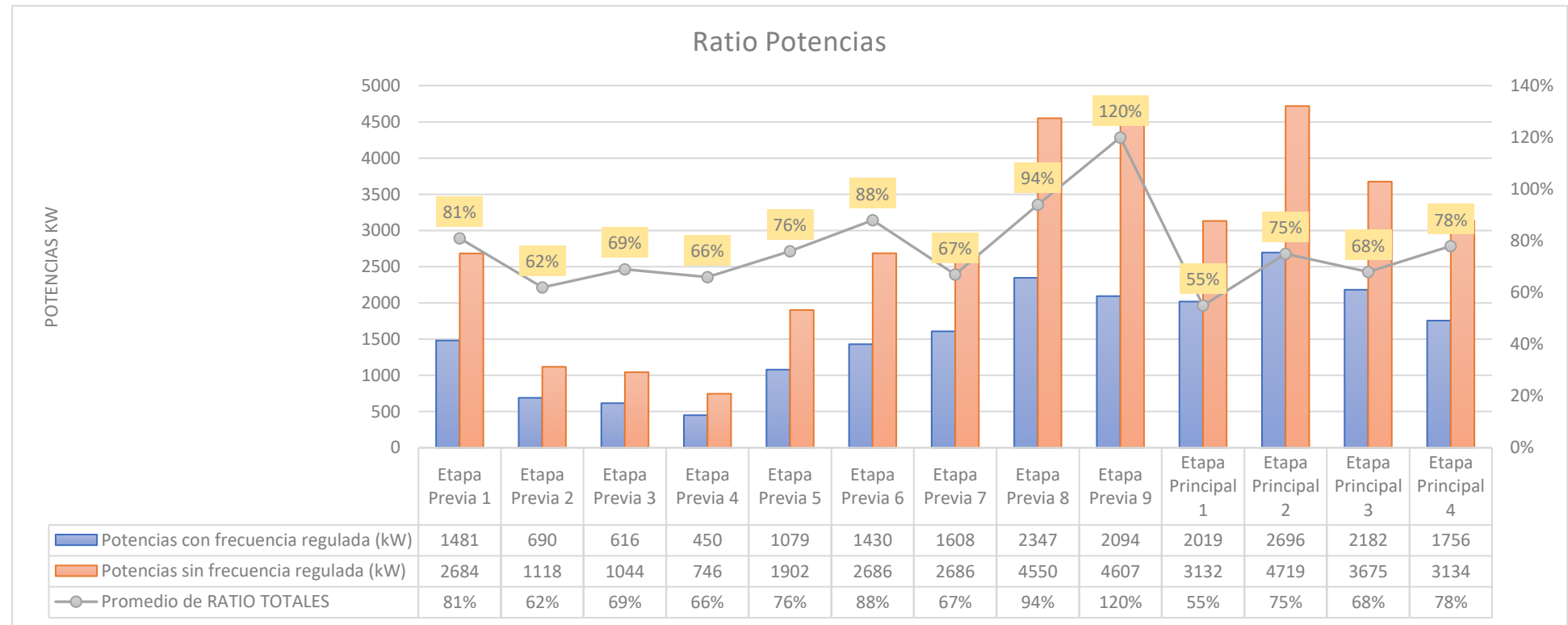
Costos operativos y potencias eléctricas de ventiladores por etapas.



A continuación, se muestra un comparativo de las potencias nominales y las potencias con frecuencia reguladas. Las columnas de tonalidad azul indican los valores de las potencias nominales (kW), los cuales superan a las potencias de simulación (kW) en un porcentaje representado con un ratio de potencias.

Gráfico 27.

Comparativa Potencias nominales Vs Potencias obtenidas.



Análisis económico CAPEX (cruceros, pozos, subestaciones eléctricas, cables, ventiladores, transformadores y obras civiles)

CAPEX – “La Terronera”

El costo capital estimado para la mina “La Terronera” y sus respectivas etapas: nueve (09) Etapas Previas y cuatro (04) etapas principales, nos da un total de **US\$ 27 024 654**, tomando en cuenta también los costos de obras civiles y transformadores.

Tabla 38.

Costo de inversión por etapas – “La Terronera” Etapas Previas.

Descripción	Etapas Previas								
	Etapas 01	Etapas 02	Etapas 03	Etapas 04	Etapas 05	Etapas 06	Etapas 07	Etapas 08	Etapas 09
Costo Cruceros	482 076	313 149	51 524	111 526	161 746	307 941	669 558	505 425	383 284
Costo Chimenea-Alimak	508 452	94 639	367 555		201 416	663 472	453 513	599 405	1 035 481
Costo Raise Boring					45 072	154 584	107 856		
Costo SSEE	4 525 000	95 000			70 000	80 000	80 000	250 000	270 000
Costo Cables	143 850		75 950		55 800	52 350	80 550	93 600	107 555
Costo Ventiladores	1 074 280				139 870	289 200	164 060	370 450	176 915
CAPEX US\$	6 733 658	502 788	495,029	111 526	673 904	1 547 547	1 555 536	1 818 880	1 973 234

Tabla 39.

Costo de inversión por etapas – “La Terronera” Etapas Principales.

Descripción	Etapas Principales			
	Etapas 01	Etapas 02	Etapas 03	Etapas 04
Costo Cruceros	487 071	1 239 514	1 225 337	
Costo Chimenea-Alimak	438 548	1 152 945	645 323	
Costo Raise Boring		329 112	774 792	
Costo SSEE	230 000	350 000		
Costo Cables	133 876	312 683	67 333	
Costo Ventiladores	299 385	823 340	2 052 520	
CAPEX US\$	1 588 879	4 207 594	4 765 304	

Según el análisis la etapa de mayor inversión viene a ser la Etapa 1 que comprende desde el 03/01/2022 hasta el 04/10/2022 por la instalación de seis (06) Subestaciones eléctricas, un (01) centro de transformación y la compra de cinco (05) Grupos electrógenos para los Portales 1 y 2 y Portal Lupillo; no obstante, en caso de no adquirir el centro de transformación se podría reemplazar por un grupo electrógeno adicional. Además, las etapas principales 03 y 04 muestran una alta inversión debido a que en la Etapa Principal 02 se realizará la inversión de cinco (05) Subestaciones eléctricas, mientras que en la Etapa Principal 03 se realizará la compra de cuatro (04) ventiladores de 300 Kcfm marca HOWDEN.

Análisis económico OPEX (mangas de ventilación, potencia eléctrica, mano de obra, demoras operativas)

OPEX – “La Terronera”

En el caso del costo operativo para la mina “La Terronera” y las nueve (09) Etapas Previas y las cuatro (04) Etapas Principales se obtiene un costo de **US\$ 30 082 884**.

Tabla 40.

Costo operativo por etapas – “La Terronera” Etapas Previas.

Descripción	Etapas 01	Etapas 02	Etapas 03	Etapas 04	Etapas 05	Etapas 06	Etapas 07	Etapas 08	Etapas 09
Manga de 42' - Flexible	133 604	26,966	33 559	12 002	19 346	6 317	52 273	117 072	
Manga de 30' - Flexible					2 592	27 325			20 229
Manga de 26' - Flexible							4 997	9 595	49 073
Energía Eléctrica (KW)	624 756	101 304	30 844	23 641	51 322	257 471	178 733	494 045	486 290
Mano de obra	28 114	4 559	1 388	1 064	2 309	11 586	8 043	22 232	21 883
Imprevistos	156 189	25 326	7 711	5 910	12 830	64 368	44 683	123 511	121 572
OPEX US\$	942 663	158 154	73 501	42 618	88 400	367 068	288 729	826 455	699 047

Tabla 41.*Costo operativo por etapas – “La Terronera” Etapas Principales*

Descripción	Etapas 01	Etapas 02	Etapas 03	Etapas 04
Manga de 42' - Flexible				
Manga de 30' - Flexible	48 356	100 575	24 436	49 901
Manga de 26' - Flexible	42 101	101 693	45 350	109 938
Energía Eléctrica (KW)	363 850	1245 695	10 011 542	8 513 199
Mano de obra	16 373	56 056	450 519	383 094
Imprevistos	90 963	311 424	2 502 885	2 128 300
OPEX US\$	561 643	1 815 442	13 034 731	11 184 432

Según este análisis, las etapas de mayor costo operativo son las Etapas Principales 3 y 4, ya que en estas etapas se utilizará de forma constante los ventiladores de diversas capacidades: 40, 50, 60, 120 y 300 Kcfm y las subestaciones eléctricas.

Resumen CAPEX – OPEX

El análisis económico del proyecto se resume en la siguiente tabla:

Tabla 42.

Resumen costo CAPEX – OPEX.

Item	Descripción	US\$
CAPEX	Costo Cruceros	5 938 150
	Costo Chimenea-Alimak	6 160 747
	Costo Raise Boring	1 411 416
	Costo SSE	5 950 000
	Costo Cables	1 123 546
	Costo Ventiladores	5 390 020
	Costo Transformadores	810 000
	Obras Civiles	240 776
	Sub Total CAPEX	27 024 654
OPEX	Manga de 42' - Flexible	461 138
	Manga de 36' - Anillada	0
	Manga de 30' - Flexible	273 414
	Manga de 26' - Flexible	362 747
	Energía Eléctrica (KW)	22 382 691
	Mano de obra	1 007 221
	Imprevistos	5 595 673
	Sub Total OPEX	30 082 884
	BALANCE TOTAL	57 107 538

IV. Conclusiones

1. Se logró diseñar un sistema de ventilación óptimo basado en la regulación vigente. Además, se observó en el modelo de VentSIM 5.4 los valores obtenidos en el proyecto cumplen con todos los requerimientos indicados.
2. Se optimizó el sistema de ventilación a lo largo de la vida de la mina distribuido por etapas, en cada una de las mismas se observó que se cumple con el caudal

requerido para los trabajadores y equipos. Además, en cada etapa se tomó en cuenta la funcionalidad correcta de los ventiladores, el tiempo de dilución de los gases y la recirculación nula en todo el sistema de ventilación.

3. Para lograr un sistema de ventilación que evite accidentes ocupacionales se realizó la simulación de evacuación de gases producidos por los explosivos en los frentes de avances y tajos de producción obteniendo tiempos de evacuación de gases menores a 15 minutos en los frentes y los accesos a las labores, este tiempo de dilución obtenido es óptimo debido que al pasar ese tiempo la concentración de monóxido de carbono se encuentra por debajo de 25 ppm (partes por millón).
4. El diseño de ventilación proporcionado genera un beneficio económico propuesto en el ahorro de energía con el uso de variación de frecuencia en los ventiladores; se observó que para una variación de 40% y 50% para un funcionamiento de 5 años se ha conseguido un ahorro de 1 080 492 USD y para el escenario de funcionamiento al 70% y 80% se consiguió un ahorro de 692 319 USD.

V. Recomendaciones

- Los diseños que se plantea en las diferentes Etapas de construcción se ajustan al requerimiento necesario para inyectar y extraer el aire y se permita el calce (caudal suficiente) para lograr una cobertura que supere el 100%, según la demanda establecida. De igual manera se recomienda alcanzar un valor entre el 100 y 110% de cobertura.
- Garantizar el funcionamiento de los ventiladores de acuerdo a un plan de supervisión y control (registro de los parámetros mecánicos y eléctricos).

- Los ventiladores podrán ser sometidos o regulados a los periodos máximos o mínimos de demanda, es decir, hacerlos funcionar variando las revoluciones de forma intermitente y/o automatizada (acogerse al VOD).
- Los diseños han sido plasmados según las características técnicas de los ventiladores Howden y en caso se cambien por otra marca, serán necesarios caracterizar sus curvas del proveedor para realizar las simulaciones que sean pertinentes.

VI. Referencias bibliográficas

- Jiménez P. A. (2011). "Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles"
- Howden, (2016). "Manual de Ventiladores y Curvas características, Brasil".
- Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas. (1993). Ley de concesiones eléctricas decreto ley n° 25844 y reglamento decreto supremo n° 009-93-em.
- Adjiski, V. (2014). Possibilities for simulating the smoke Roll-back effect in underground mines. Macedonia.
- Cárcamo, M. A. (2017). Técnicas de investigación de incendios. Incendios de origen eléctrico. Barcelona.
- Madrid. (2016). Desarrollo de un incendio: Flasover. MADRID.
- Madrid, U. P. (2003). Técnicas de control y extinción de incendios en las obras subterráneas en las que se emplean técnica minera en su ejecución. MADRID.
- McPherson, M. J. (2016). Ingeniería de Ventilación Subterránea. California, USA: Mine Ventilation Services, Inc.

VII. Anexos

7.1. Cálculo de requerimiento de aire según normativa peruana

Cálculo del caudal según el personal que trabaja

El caudal de aire necesario se determina según la siguiente fórmula:

donde:

$$Q = f \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

f = volumen de aire necesario por hombre. f = 3 m³/min, en este caso f = 4 m³/min

N = número de hombres trabajando.

Cálculo del caudal según el consumo de madera

$$Q = T \times u \text{ (m}^3\text{/min)}$$

donde:

u = norma de aire por tonelada de producción diaria expresada en m³/min.

T = producción diaria en toneladas.

Con poco consumo de madera varía entre 0.6 (de 20 a 40%) a 1 m³/min (de 41 a 70%).

Si el consumo de madera es alto (>70%), puede llegar hasta 1.25 m³/min.

Cálculo del caudal según temperatura en labores de trabajo

$$Q = Vm \times A \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Vm = Velocidad mínima; cuando es mayor a 23 la velocidad es 30 m/min

A = Área de labor promedio

N = Número de niveles con temperatura mayor a 23°C

Cálculo del caudal por equipo con motor petrolero

$$Q = 3 \times HP \times Dm \times Fu \text{ (m}^3/\text{min)}$$

Donde:

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs)

Dm = Disponibilidad mecánica de los equipos (%)

Fu = Factor de utilización de los equipos (%)

Cálculo del caudal requerido por fugas

$$Q = 15\% \times Qt \text{ (m}^3/\text{min)}$$

Donde:

Qt = Sumatoria de los caudales anteriormente mencionados

Etapa Principal 1

I. Parámetros de cálculo						
N°	Ítem	Unidad	Simbología	Valor		
1	Cota de trabajo	msnm	c	1750		
2	Caudal requerido por hombre	m3/min	F	4		
3	Número de trabajadores por guardia	unid	N	100		
4	Producción por guardia	TMH/guardia	T	1000		
5	Consumo de madera	%	CM	0		
6	Factor de producción	m3/min	u	0		
7	Temperatura seca	T°	T°	23.21		
8	Velocidad mínima según temperatura	m/min	Vm	30		
9	Número de nivel con T° mayor a 23°		N	4		
10	Sección promedio de la labor	m2	A	19.70		
11	Potencia equipos motor diesel	hp	HP	6413		
12	Factor de utilización promedio	%	FU	0.49		
13	Disponibilidad mecánica	%	Dm	0.85		
14	Caudal requerido por HP	m3/min	HP	3		
15	Factor de corrección por altura	%	FA	0.85		
16	Caudal requerido	m3/min	Qr	15,042.6		
II. Determinación de caudal requerido						
2.1 Por el numero de personal (Qtr)						
$Q_{tr} = F \times N \text{ (m}^3/\text{min)}$		$N^{\circ} \text{ personas} = 100$ $F = 4\text{m}^3/\text{min}$	Caudal	m3/min	cfm	
			Qtr	400	14,126	
2.2 Por el uso de madera (Qma)						
$Q_{ma} = T \times u \text{ (m}^3/\text{min)}$			Caudal	m3/min	cfm	
			Qma	0.0	0.0	
2.3 Por temperatura en las labores de trabajo (Qte)						
$Q_{te} = V_m \times A \times N \text{ (m}^3/\text{min)}$			Caudal	m3/min	cfm	
			Qte	2364.6	83,502.8	
2.4 Para operación de equipos diesel (Qeq)						
Cant.	Equipo	HP	FU	DM	HP Efectivo	Observaciones
4.00	Jumbo	590	0.50	0.85	501	Operativo
4.00	Bolter	397	0.35	0.85	337	Operativo
4.00	Haul Trucks	2412	0.85	0.85	2050	Operativo
3.00	Scoops	1029	0.85	0.85	875	Operativo
1.00	Scoops	214	0.85	0.85	182	Operativo
1.00	Scissor Lift	173	0.25	0.85	60	Operativo
2.00	Shotcrete Machine	292	0.30	0.85	248	Operativo
2.00	Concrete Mixer	440	0.30	0.85	374	Operativo
1.00	Service truck	173	0.30	0.85	147	Operativo
1.00	Service truck	173	0.30	0.85	147	Operativo
2.00	Service truck	362	0.50	0.85	308	Operativo
4.00	Service truck	1394	0.50	0.85	1185	Operativo
$Q_{eq} = 3 \times HPS \times D_m \times F_u \text{ (m}^3/\text{min)}$			Caudal	m3/min		cfm
			Qeq	10,315.94	364,297	
			Qt	13080.52	461,926	
2.5 Por fugas (Qfu)						
$Q_{fu} = 15\% \times Q_t \text{ (m}^3/\text{min)}$			Caudal	m3/min	cfm	
			Q5	1962.08	69,289	
2.6	Caudal total	Qtr+Qma+Qte+Qeq+Qfu		15,042.6	531,215	
2.7	Caudal requerido			15042.6	531,215	

Etapa Principal 2

Balance General de aire de Mina						
I. Parámetros de cálculo						
N°	Ítem	Unidad	Simbología	Valor		
1	Cota de trabajo	msnm	c	1750		
2	Caudal requerido por hombre	m3/min	F	4		
3	Número de trabajadores por guardia	unid	N	200		
4	Producción por guardia	TMH/guardia	T	1000		
5	Consumo de madera	%	CM	0		
6	Factor de producción	m3/min	u	0		
7	Temperatura seca	T°	T°	23.21		
8	Velocidad mínima según temperatura	m/min	Vm	30		
9	Número de nivel con T° mayor a 23°		N	5		
10	Sección promedio de la labor	m2	A	19.70		
11	Potencia equipos motor diesel	hp	HP	8636		
12	Factor de utilización promedio	%	FU	0.43		
13	Disponibilidad mecánica	%	Dm	0.85		
14	Caudal requerido por HP	m3/min	HP	3		
15	Factor de corrección por altura	%	FA	0.85		
16	Caudal requerido	m3/min	Qr	18,920.3		
II. Determinación de caudal requerido						
2.1 Por el numero de personal (Qtr)						
$Q_{tr} = F \times N (m^3/min)$		$N^{\circ} \text{ personas} = 100$ $F = 4m3/min$		Caudal	m3/min	cfm
				Qtr	800	28,252
2.2 Por el uso de madera (Qma)						
$Q_{ma} = T \times u (m^3/min)$				Caudal	m3/min	cfm
				Qma	0.0	0.0
2.3 Por temperatura en las labores de trabajo (Qte)						
$Q_{te} = V_m \times A \times N (m^3/min)$				Caudal	m3/min	cfm
				Qte	2955.7	104,378.5
2.4 Para operación de equipos diesel (Qeq)						
Cant.	Equipo	HP	FU	DM	HP Efectivo	Observaciones
4.00	Jumbo	590	0.50	0.85	501	Operativo
4.00	Bolter	397	0.35	0.85	337	Operativo
4.00	Longhole Drilling Machine	198	0.25	0.85	169	Operativo
3.00	Haul Trucks	3015	0.85	0.85	2563	Operativo
1.00	Scoops	1029	0.85	0.85	875	Operativo
1.00	Scoops	214	0.85	0.85	60	Operativo
2.00	Scissor Lift	346	0.25	0.85	294	Operativo
2.00	Shotcrete Machine	292	0.30	0.85	248	Operativo
1.00	Concrete Mixer	659	0.30	0.85	560	Operativo
1.00	Service truck	346	0.30	0.85	294	Operativo
2.00	Service truck	346	0.30	0.85	294	Operativo
2.00	Service truck	362	0.50	0.85	308	Operativo
2.00	Service truck	173	0.10	0.85	147	Operativo
2.00	Service truck	173	0.10	0.85	147	Operativo
2.00	Service truck	2090	0.50	0.85	1777	Operativo
4.00	Excavator	74	0.50	0.85	63	Operativo
$Q_{eq} = 3x HPs \times D_m \times F_u (m^3/min)$				Caudal	m3/min	cfm
				Qeq	12,696.73	448,372
				Qt	16452.46	581,003
2.5 Por fugas (Qfu)						
$Q_{fu} = 15\% \times Q_t (m^3/min)$				Caudal	m3/min	cfm
				Q5	2467.87	87,150
2.6	Caudal total	Qtr+Qma+Qte+Qeq+Qfu		18,920.3	668,153	
2.7	Caudal requerido			18920.3	668.153	

Etapa Principal 3

Balance General de aire de Mina						
I. Parámetros de cálculo						
N°	Ítem	Unidad	Simbología	Valor		
1	Cota de trabajo	msnm	c	1750		
2	Caudal requerido por hombre	m3/min	F	4		
3	Número de trabajadores por guardia	unid	N	1200		
4	Producción por guardia	TMH/guardia	T	1000		
5	Consumo de madera	%	CM	0		
6	Factor de producción	m3/min	u	0		
7	Temperatura seca	T°	T°	23.21		
8	Velocidad mínima según temperatura	m/min	Vm	30		
9	Número de nivel con T° mayor a 23°		N	6		
10	Sección promedio de la labor	m2	A	19.70		
11	Potencia equipos motor diesel	hp	HP	10398		
12	Factor de utilización promedio	%	FU	0.44		
13	Disponibilidad mecánica	%	Dm	0.85		
14	Caudal requerido por HP	m3/min	HP	3		
15	Factor de corrección por altura	%	FA	0.85		
16	Caudal requerido	m3/min	Qr	25,934.7		
II. Determinación de caudal requerido						
2.1 Por el numero de personal (Qtr)						
$Q_{tr} = F \times N (m^3/min)$		$N^{\circ} \text{ personas} = 100$ $F = 4m3/min$		Caudal	m3/min	cfm
				Qtr	4800	169,512
2.2 Por el uso de madera (Qma)						
$Q_{ma} = T \times u (m^3/min)$				Caudal	m3/min	cfm
				Qma	0.0	0.0
2.3 Por temperatura en las labores de trabajo (Qte)						
$Q_{te} = V_m \times A \times N (m^3/min)$				Caudal	m3/min	cfm
				Qte	3546.9	125,254.2
2.4 Para operación de equipos diesel (Qeq)						
Cant.	Equipo	HP	FU	DM	HP Efectivo	Observaciones
4.00	Jumbo	590	0.70	0.85	501	Operativo
4.00	Jumbo	297	0.35	0.85	253	Operativo
4.00	Bolter	694	0.35	0.85	590	Operativo
4.00	Longhole Drilling Machine	397	0.20	0.85	337	Operativo
4.00	Longhole Drilling Machine	147	0.30	0.85	125	Operativo
4.00	Haul Trucks	3618	0.85	0.85	60	Operativo
4.00	Scoops	2744	0.85	0.85	2333	Operativo
4.00	Scoops	214	0.85	0.85	182	Operativo
4.00	Scissor Lift	691	0.30	0.85	588	Operativo
4.00	Shotcrete Machine	292	0.30	0.85	248	Operativo
4.00	Concrete Mixer	879	0.30	0.85	747	Operativo
4.00	Service truck	346	0.30	0.85	294	Operativo
4.00	Service truck	519	0.30	0.85	441	Operativo
4.00	Service truck	362	0.60	0.85	308	Operativo
4.00	Service truck	346	0.25	0.85	294	Operativo
4.00	Service truck	346	0.30	0.85	294	Operativo
4.00	Service truck	2787	0.60	0.85	2369	Operativo
4.00	Excavator	223	0.50	0.85	189	Operativo
4.00	Excavator	134	0.30	0.85	114	Operativo
4.00	Motor Grader	154	0.30	0.85	131	Operativo
$Q_{eq} = 3x HPs \times D_m \times F_u (m^3/min)$				Caudal	m3/min	cfm
				Qeq	14,205.01	501,636
				Qt	22551.89	796,402
2.5 Por fugas (Qfu)						
$Q_{fu} = 15\% \times Q_t (m^3/min)$				Caudal	m3/min	cfm
				Q5	3382.78	119,460
2.6	Caudal total	Qtr+Qma+Qte+Qeq+Qfu		25,934.7	915,862	
2.7	Caudal requerido			25934.7	915,862	

Etapa Principal 4

Balance General de aire de Mina						
I. Parámetros de cálculo						
N°	Ítem	Unidad	Simbología	Valor		
1	Cota de trabajo	msnm	c	1750		
2	Caudal requerido por hombre	m3/min	F	4		
3	Número de trabajadores por guardia	unid	N	1700		
4	Producción por guardia	TMH/guardia	T	1000		
5	Consumo de madera	%	CM	0		
6	Factor de producción	m3/min	u	0		
7	Temperatura seca	T°	T°	23.21		
8	Velocidad mínima según temperatura	m/min	Vm	30		
9	Número de nivel con T° mayor a 23°		N	7		
10	Sección promedio de la labor	m2	A	19.70		
11	Potencia equipos motor diesel	hp	HP	10398		
12	Factor de utilización promedio	%	FU	0.49		
13	Disponibilidad mecánica	%	Dm	0.85		
14	Caudal requerido por HP	m3/min	HP	3		
15	Factor de corrección por altura	%	FA	0.85		
16	Caudal requerido	m3/min	Qr	29,133.7		
II. Determinación de caudal requerido						
2.1 Por el numero de personal (Qtr)						
$Q_{tr} = F \times N (m^3/min)$		$N^{\circ} \text{ personas} = 1700$ $F = 4m3/min$		Caudal	m3/min	cfm
				Qtr	6800	240,142
2.2 Por el uso de madera (Qma)						
$Q_{ma} = T \times u (m^3/min)$				Caudal	m3/min	cfm
				Qma	0.0	0.0
2.3 Por temperatura en las labores de trabajo (Qte)						
$Q_{te} = V_m \times A \times N (m^3/min)$				Caudal	m3/min	cfm
				Qte	4138.0	146,129.9
2.4 Para operación de equipos diesel (Qeq)						
Cant.	Equipo	HP	FU	DM	HP Efectivo	Observaciones
4.00	Jumbo	590	0.70	0.85	501	Operativo
4.00	Jumbo	297	0.35	0.85	253	Operativo
4.00	Bolter	694	0.35	0.85	590	Operativo
4.00	Longhole Drilling Machine	397	0.20	0.85	337	Operativo
4.00	Longhole Drilling Machine	147	0.30	0.85	125	Operativo
4.00	Haul Trucks	3618	0.85	0.85	60	Operativo
4.00	Scoops	2744	0.85	0.85	2333	Operativo
4.00	Scoops	214	0.85	0.85	182	Operativo
4.00	Scissor Lift	691	0.25	0.85	588	Operativo
4.00	Shotcrete Machine	292	0.30	0.85	248	Operativo
4.00	Concrete Mixer	879	0.30	0.85	747	Operativo
4.00	Service truck	346	0.30	0.85	294	Operativo
4.00	Service truck	519	0.30	0.85	441	Operativo
4.00	Service truck	362	0.60	0.85	308	Operativo
4.00	Service truck	346	0.25	0.85	294	Operativo
4.00	Service truck	346	0.30	0.85	294	Operativo
4.00	Service truck	2787	0.60	0.85	2369	Operativo
4.00	Excavator	223	0.85	0.85	189	Operativo
4.00	Excavator	134	0.00	0.85	114	Operativo
4.00	Motor Grader	154	0.85	0.85	131	Operativo
$Q_{eq} = 3 \times HPs \times D_m \times F_u (m^3/min)$				Caudal	m3/min	cfm
				Qeq	14,395.60	508,366
				Qt	25333.62	894,638
2.5 Por fugas (Qfu)						
$Q_{fu} = 15\% \times Q_t (m^3/min)$				Caudal	m3/min	cfm
				Q5	3800.04	134,195
2.6	Caudal total	Qtr+Qma+Qte+Qeq+Qfu		29,133.7	1,028,833	
2.7	Caudal requerido			29133.7	1,028,833	

7.2. Análisis Termodinámico

ETP: Etapa Principal

RP: Rampa

Etapa Principal 1

Análisis Termodinámico - Etapa Principal 1

ETP	RP	Frente	Cota	T. bulbo húmedo	T.bulbo seco	Humedad relativa	Temperatura efectiva
ETP 1	RP 1	FRENTE NV 1500	1499.6	23. 7	35.7	39	25.7
			1489.5	23. 2	34.5	40.8	24.9
		FRENTE NV 1440	1428	23. 8	35.3	40.7	25.5
			1428	23. 9	35.5	40.3	25.7
		FRENTE NV 1420	1419.6	21. 3	26	68.2	15.8
			1411.8	22. 9	31.2	51.3	23.3
			1411.8	23. 9	33.9	46	25.2
			1411.8	24. 7	35.8	42.6	26.5
	RP 2	FRENTE NV 1528	1528.3	21. 7	31.4	45.2	23.5
			1528.3	22. 6	33.6	41.5	24.9
			1527.4	23. 7	35.2	40.6	25.5
			1328.1	25. 1	33.3	53.4	26.6
	RP 4	FRENTE NV 1336	1328.1	25. 7	35	49.9	27.6
			1328.1	25. 9	35.3	49.2	27.8
			1328.1	26. 1	35.8	48.2	28.1

ETP: Etapa Principal

RP: Rampa

Etapa Principal 2*Análisis Termodinámico - Etapa Principal 2*

ETP	RP	Frente	Cota	T. bulbo húmedo	T. bulbo seco	Humedad relativa	Temperatura efectiva
ETP 2	RP 1	FRENTE	1499.6	22.4	32	45.8	23.4
		NV 1500	1489.5	21.8	30.5	48.8	22.2
			1435.1	23.4	33.8	43.8	24.8
		FRENTE	1428	22.3	31.2	48.8	22.8
		NV 1440	1428	22.4	31.4	48.3	23
			1419.6	21.5	26.4	67	19.1
			1411.8	23.1	31.6	50.5	23.6
			1411.8	23.5	32.7	48.5	24.4
			1411.8	23.9	33.4	47.2	25
		FRENTE	1411.8	24.3	34.4	45.7	25.7
		NV 1420	1411.8	24.6	35.1	44.6	26.2
			1411.8	25	35.9	43.2	26.8
	RP 2		1548.2	21.4	30.5	47.2	23.6
			1548.2	22	31.8	44.9	24.4
			1548.2	22.5	33	43	25.2
		FRENTE	1548.2	23	34.2	41.1	26
		NV 1548	1548	23.6	35.4	39.4	26.7
			1528.2	21.5	30.5	47.6	23.5
		FRENTE	1528.2	22.2	32	44.8	24.5
		NV 1528	1528.2	22.8	33.6	42.2	25.5
			1528.2	23.4	35.1	39.9	26.5
			1428.1	21.9	27.7	62.2	20.1
			1428.1	22.3	28.8	59.2	21.3
			1428.1	22.9	30.3	55.6	22.6
	RP 3		1428.1	23.5	31.7	52.2	23.8
			1428.1	24	32.9	49.7	24.7
		FRENTE	1428.1	24.3	33.8	47.8	25.4
		NV 1428	1428	24.6	34.6	46.5	25.9
			1428	24.8	35.1	45.4	26.8
			1335.9	24.6	34.4	46.7	25.9
			1328.1	23	30.9	53.1	24.1
			1328.1	24.6	35	44.7	26.8
		FRENTE	1328	22.2	28.8	58.1	22.6
		NV 1336	1328	22.6	29.9	55.6	23.4
			1268.1	24.6	32.9	53	26
			1268	23.7	30.5	58.8	24.4
	RP 4		1268	24	31.3	56.8	24.9
			1268	24.3	32	54.9	25.5
		FRENTE	1268	25.2	34.3	49.9	26.9
		NV 1277	1268	25.7	35.6	47.1	27.7

ETP: Etapa Principal

RP: Rampa

Etapla Principal 3*Análisis Termodinámico - Etapa Principal 3*

ETP	RP	Frente	Cota	T. bulbo húmedo	T. bulbo seco	Humedad relativa	Temperatura efectiva
			1549.2	23.5	33.9	44.1	23.6
			1549.2	23.7	34.4	43.2	24
			1549.2	23.9	35	42.1	24.5
		FRENTE NV 1500	1548.2	22.5	33	43	24.7
			1548.2	23.5	35.4	39.2	26.3
			1528.3	22.6	32.7	44.3	24.6
			1528.3	22.6	32.9	43.6	24.7
			1528.2	22.6	32.3	45.6	24.5
			1527.6	22.4	30.7	51.2	22.5
			1527.4	22.4	30.8	51.1	22.5
			1527.4	22.6	31.1	50.5	22.9
	RP 2	FRENTE NV 1528	1527.4	22.6	31.1	50.3	23
			1527.4	22.6	31.5	48.8	23.2
			1528.1	21	28.7	52.4	20.6
			1528.1	21.2	29.2	51.6	21
			1528.1	21.5	29.9	50.2	21.6
			1528.1	21.7	30.3	49.3	22
			1528.1	22.5	32.3	45.8	23.6
			1528.1	22.9	33.1	44.5	24.2
			1528.1	23.1	33.5	43.8	24.5
			1528.1	23.4	34.2	42.6	25.1
			1528.1	23.6	34.6	42	25.4
			1528	21.9	30.9	48.2	22.5
			1528	22.1	31.3	47.5	22.8
			1528	23.7	34.9	41.6	25.6
ETP 3	RP 3	FRENTE NV 1528	1528	23.8	35.2	41.2	25.8
			1528	23.9	35.5	40.7	26
			1528	24	35.7	40.5	26.1

ETP: Etapa Principal

RP: Rampa

Etapla Principal 4*Análisis Termodinámico - Etapa Principal 4*

ETP	RP	Frente	Co ta	T. bulbo húmedo	T. bulbo seco	Humedad relativa	Temperatura efectiva
			1548.2	22.8	33.5	42.8	25.5
		FRENTE	1548.2	23.3	34.6	41.1	26.3
		NV 1550	1548.2	23.8	35.6	39.6	26.9
			1528.2	22.3	32.3	44.8	24.7
		FRENTE	1528.2	22.9	33.5	42.7	25.5
		NV 1528	1528.2	23.4	34.8	40.8	26.3
			142	21.7	30.6	48.2	23.8
			142	22.8	33.2	43.2	25.5
			142	23.7	35.7	39.1	27.2
			142	26.3	32.7	62.2	27.5
	RP 2	FRENTE	142	26.8	34.2	57.9	28.4
		NV 1428	142	27.3	35.7	54.2	29.1
			1528.1	21.3	29.4	50.8	21.3
			1528.1	21.5	29.9	50	21.7
			1528.1	21.8	30.6	48.7	22.3
			1528.1	22	31	47.9	22.7
			1528.1	22.9	33	44.5	24.2
			1528.1	23.2	33.8	43.2	24.8
			1528.1	23.4	34.2	42.6	25.1
			1528.1	23.7	35	41.4	25.7
			1528.1	23.9	35.4	40.8	25.9
			152	22.2	31.6	46.8	23.1
		FRENTE	152	22.4	32	46.1	23.5
		NV 1528	152	24	35.6	40.4	26.1
			152	24.1	35.9	40	26.3
			144	23.5	34.6	41.7	26.5
			144	23.6	27.9	71.3	23.1
			144	23.6	27.9	71.3	23.1
		FRENTE	144	23.8	28.4	69.5	23.5
		NV 1448	1447.9	24	29.2	67	24.1
			148	22	32.2	43.4	24.3
			148	22.7	33.9	40.6	25.4
			148	23	34.6	39.6	25.8
			148	23.4	35.6	38.1	26.4
ETP 4			1487.6	20.7	26.1	63.7	21.3
	RP 3		1487.6	22	29.3	55	22.7
		FRENTE	1487.6	22.2	29.7	54	23
		NV 1488	1487.6	22.2	29.6	54.6	23.8
			1487.6	22.5	30.5	52.6	24.1

7.1. Simulación de explosivos

Análisis de tiempo de extracción de los frentes de trabajo y de los puntos de accesibilidad a la labor según etapas

	Etapa Previa 1	Etapa Previa 2	Etapa Previa 3	Etapa Previa 4	Etapa Previa 5	Etapa Previa 6	Etapa Previa 7	Etapa Previa 8	Etapa Previa 9
	T. evacuación frente/pto. acceso	T. evacuación frente/pto. acceso	T. evacuación frente/pto. acceso	T. evacuación frente/pto. acceso	T. evacuación frente/pto. acceso	T. evacuación frente/pto. acceso	T. evacuación frente/pto. acceso	T. evacuación frente/pto. acceso	T. evacuación frente/pto. acceso
Rampa Portal 1	15 / 5	13 / 7	5 / 8	4 / 8	3 / 10	15 / 20	20 / 20		
Rampa Portal 2	8 / 6								
Rampa 1	5 / 4								
Rampa 1 (-)						5 / 9			
Rp 01 Nv 1408									8 / 10
Rp 01 Nv 1488							10 / 10	18 / 20	50 / 55
Rp 01 Nv 1448							10 / 10		
Rp 01 Nv 1428							18 / 16	18 / 20	8 / 10
Rampa 2(+)	6 / 8	5 / 3				6 / 5			
Rampa 2 (-)	6 / 4						20 / 25		

Rp 02 Nv 1548			15 / 18	8 / 10	7 / 12
Rp 02 Nv 1528			20 / 20	14 / 16	20 / 24
Acc. contrafrente	4 / 6				
Acc. contrafrente		6 / 8			
Nv 1488					
Acc. contrafrente		5 / 7	6 / 6		
Nv 1468					
Acc. contrafrente		4 / 5			
Nv 1408					
Rampa 3(+)					12 / 14
Rampa 3(-)					4 / 8
Rampa 3(+)				2 / 4	
Rampa 3(-)				6 / 12	
Acc Rampa 4 (+)					20 / 25
Acc Rampa 4 (-)					5 / 7
Rp 4 Nv 1328					20 / 20

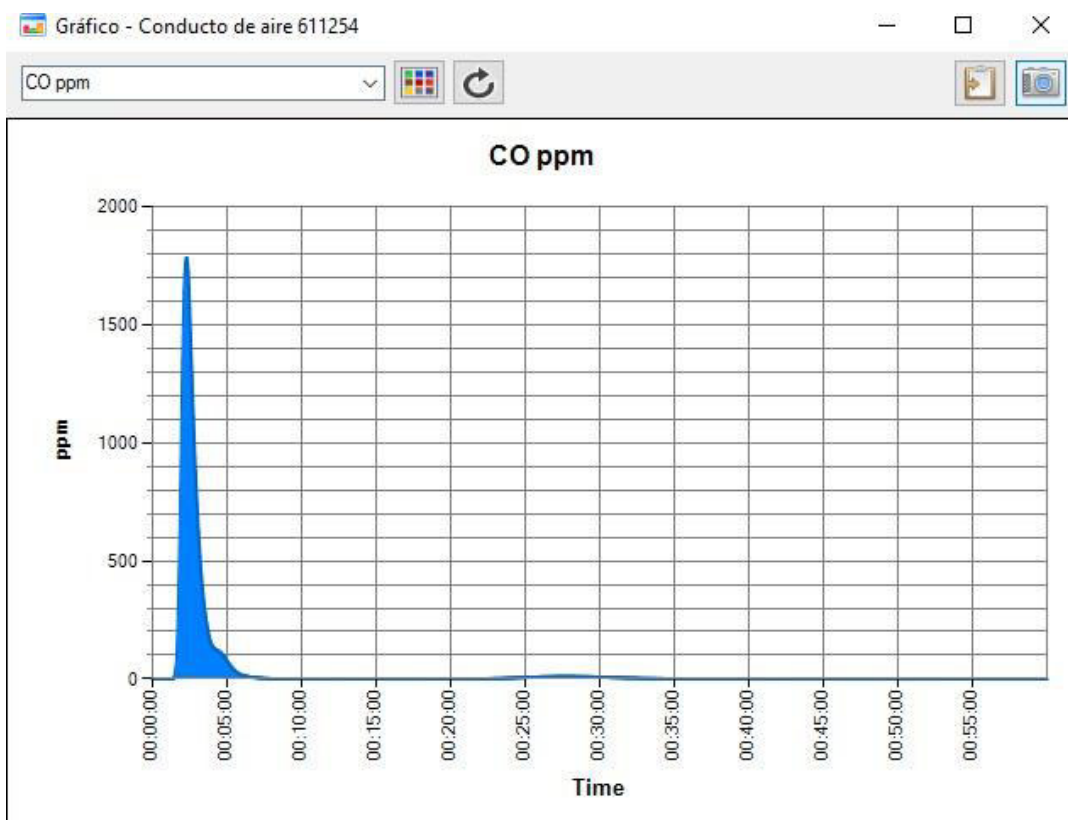
Tiempos de evacuación de monóxido en pozos de extracción según etapas principales

Ubicación	Código de	Tiempo de evacuación de gases en			
		Etapla 01	Etapla 02	Etapla 03	
Rp 01	CV-02	8	20	0	0
	CV-08	7	15	0	0
Rp 02	CV-01	10	55	0	50
	CV-13	S/E	55	45	0
Rp 03	CV-09	10	55	10	50
	CV-16	S/E	S/E	45	30
Rp 04	CV-11	40	25	0	0
	CV-15	S/E	10	0	0
Tiempo máximo de extracción en		40	55	45	50

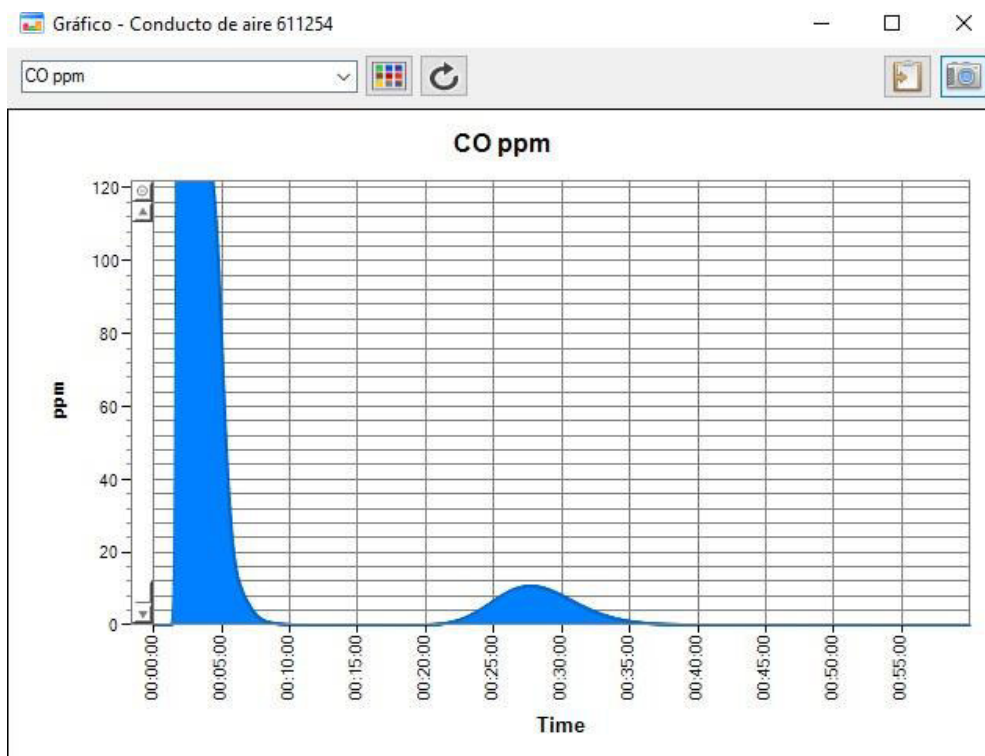
Etapla 01

Rampa 01 (CV-02)

CV-02 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 8 minutos respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura.

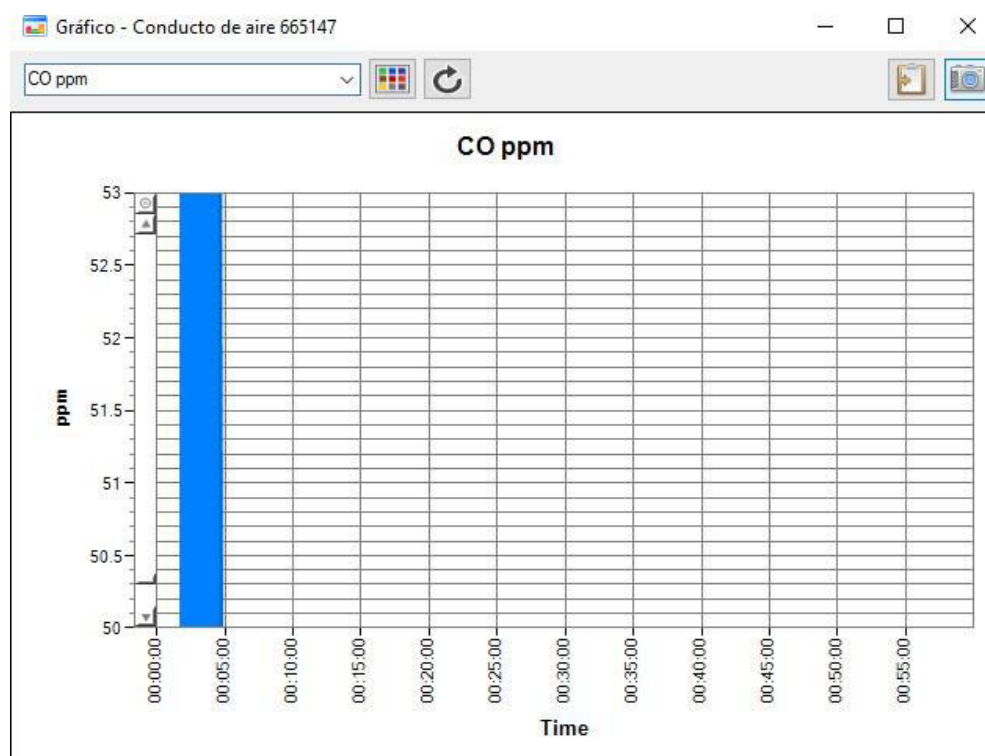


- Análisis de 0 a 120 ppm de CO posterior al disparo en el pozo: CV-08.

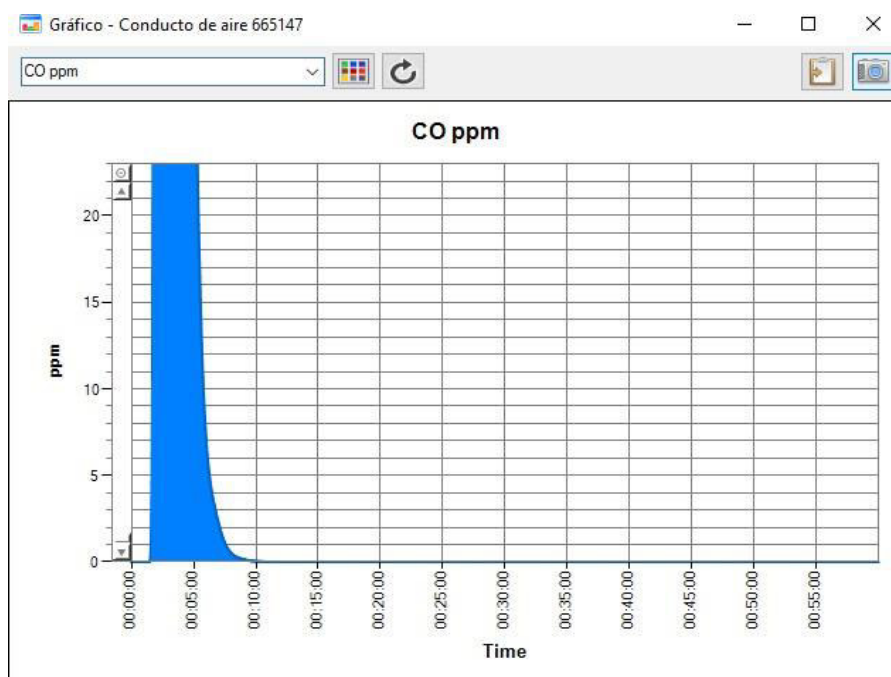


Rampa 01 (CV-08)

CV-08 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 5 minutos respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura

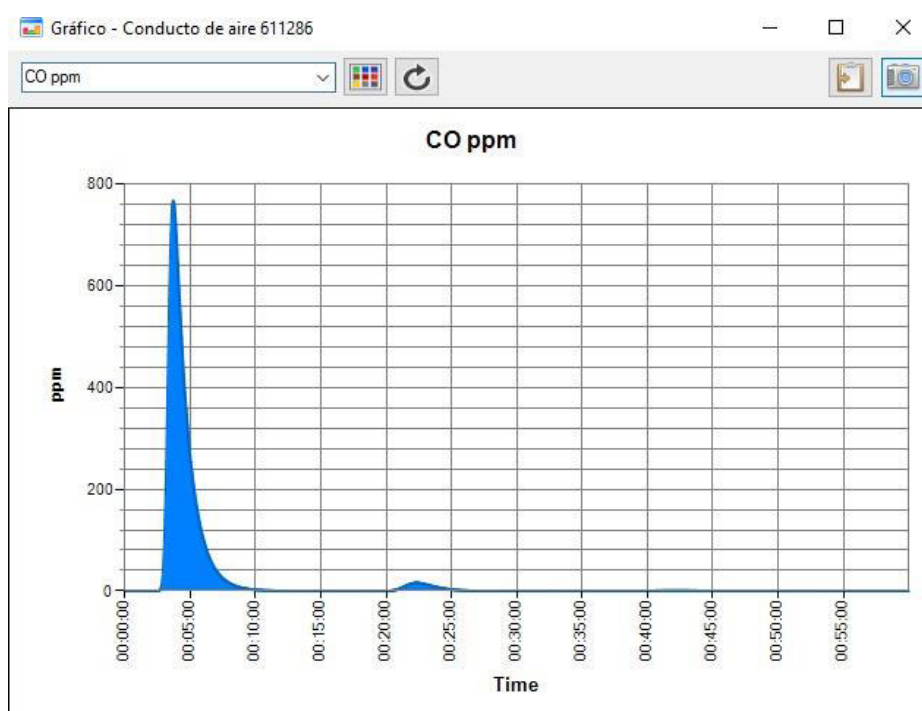


Cronograma de evacuación de gases de CO de 0 a 20 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-08.

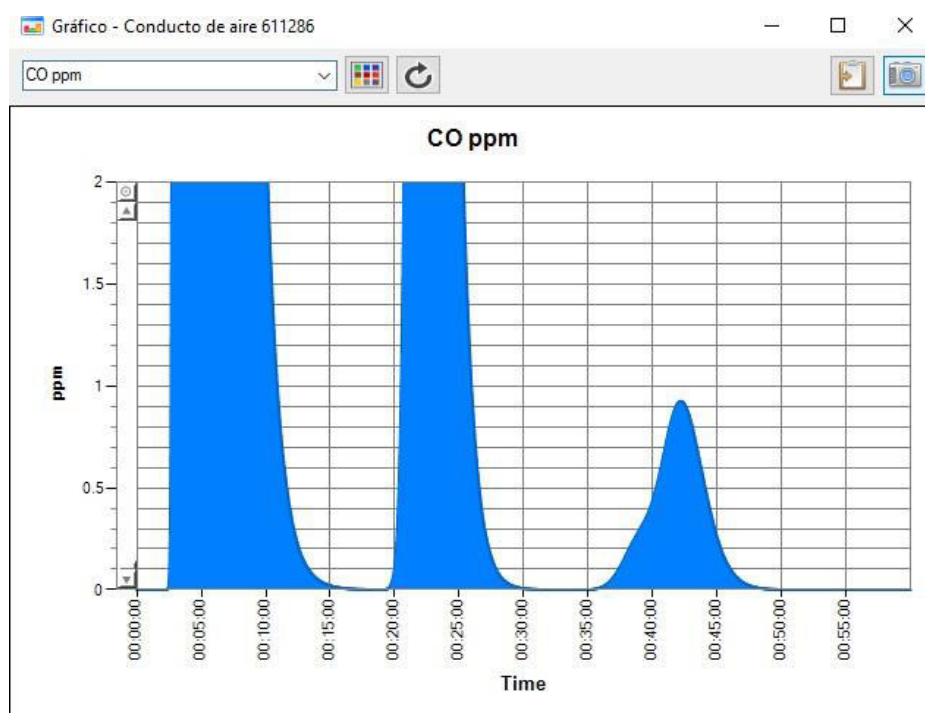


Rampa 02 (CV-01)

CV-01 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 10 minutos respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura

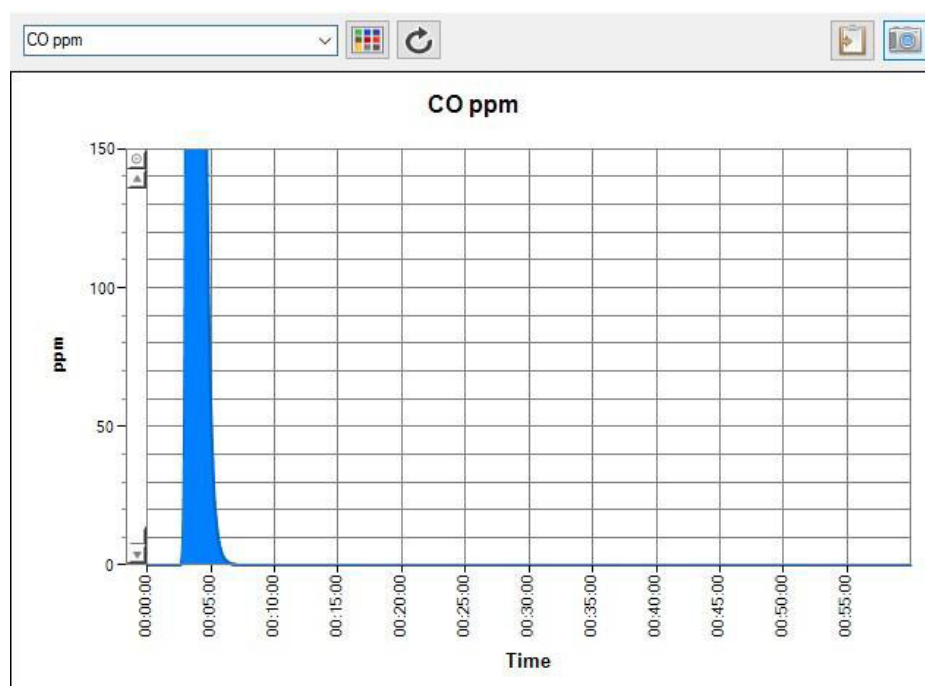


Cronograma de evacuación de gases de CO de 0 a 2 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-01.

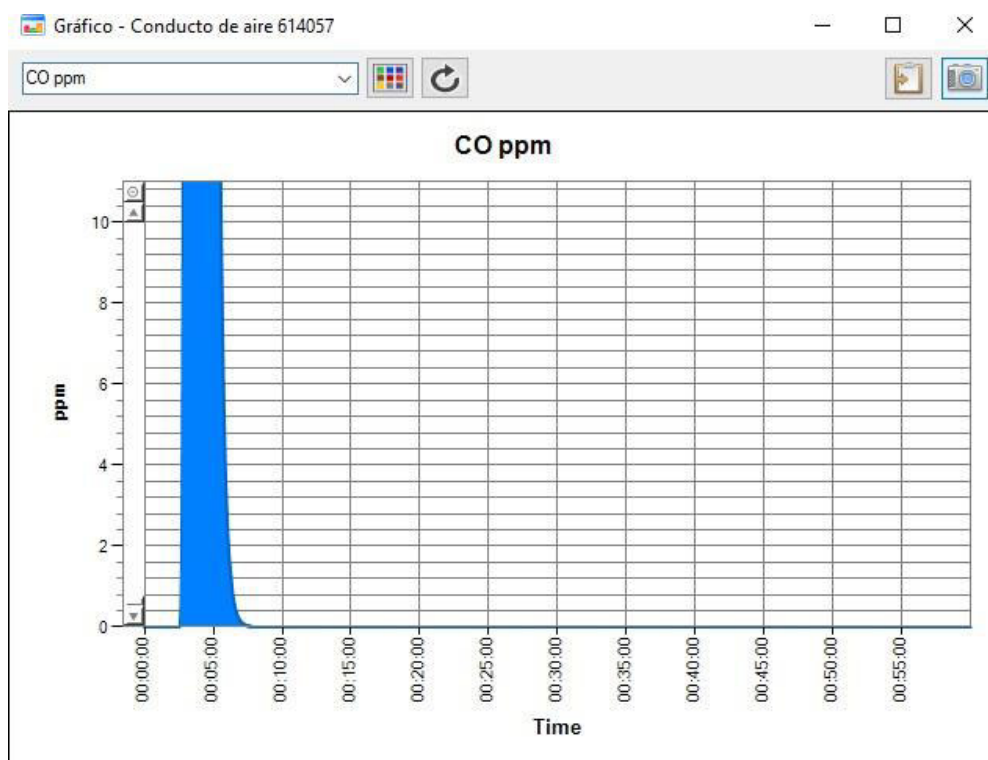


Rampa 03 (CV-09)

CV-09 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 6 minutos respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura



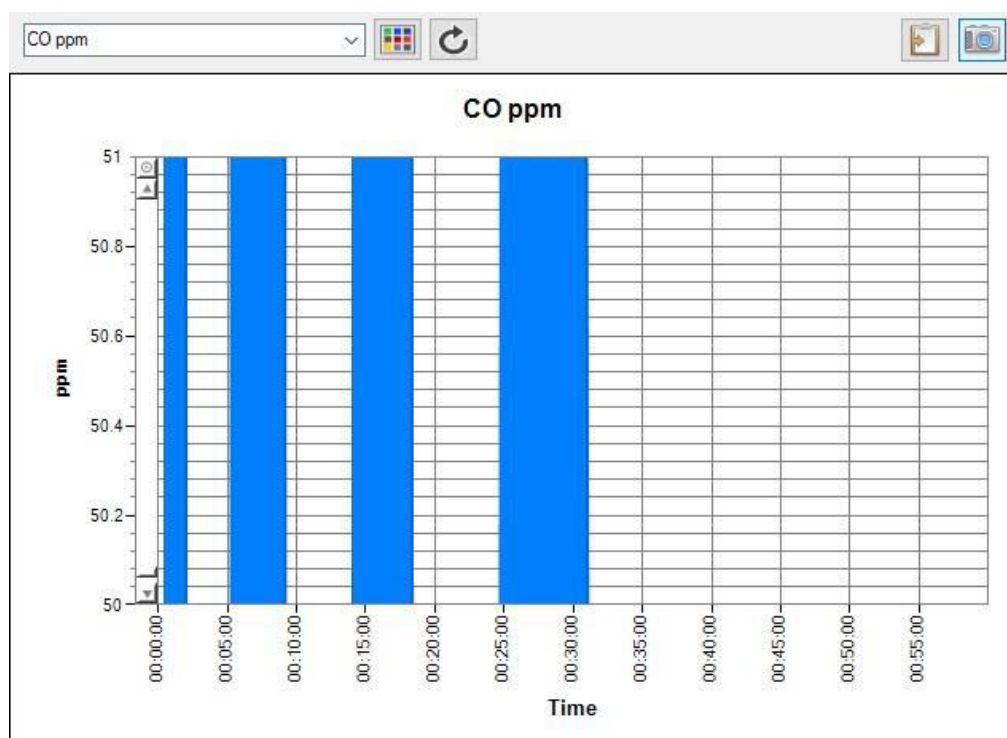
Cronograma de evacuación de gases de CO de 0 a 10 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-09.



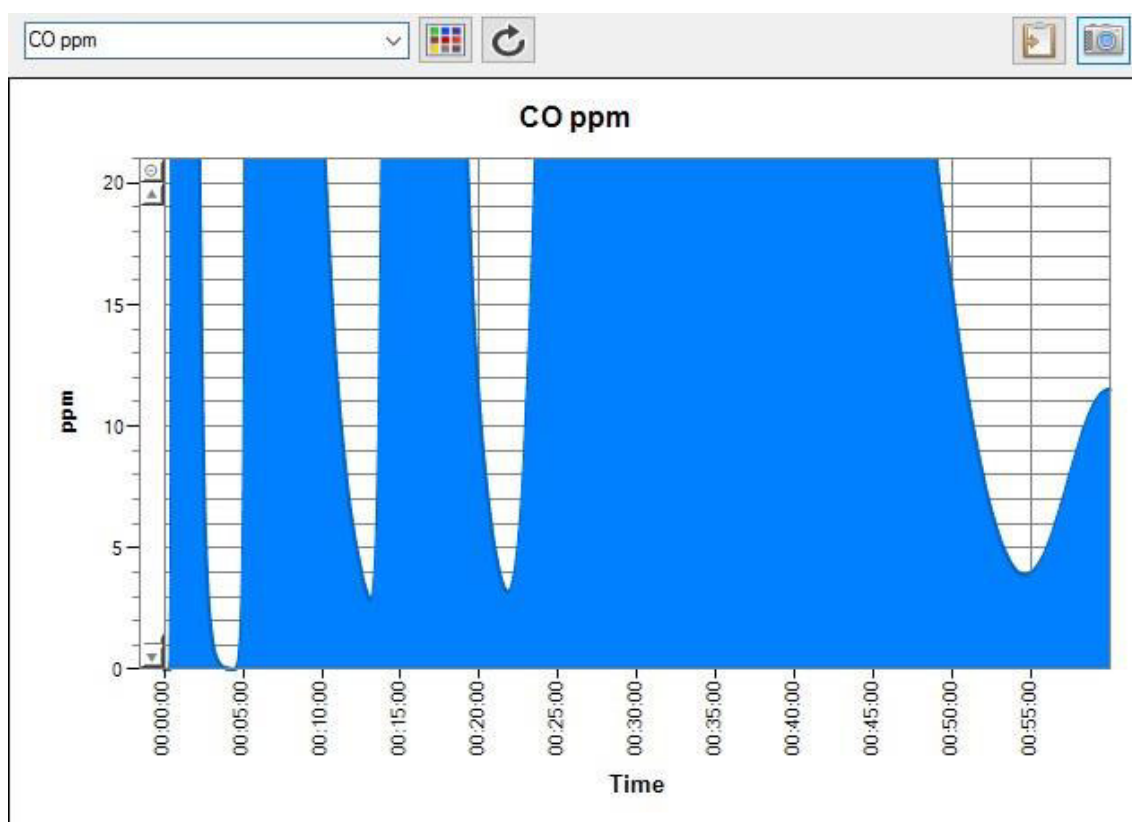
Rampa 04 (CV-11)

Cronograma de evacuación de gases de CO de 50 a 51 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-

11.



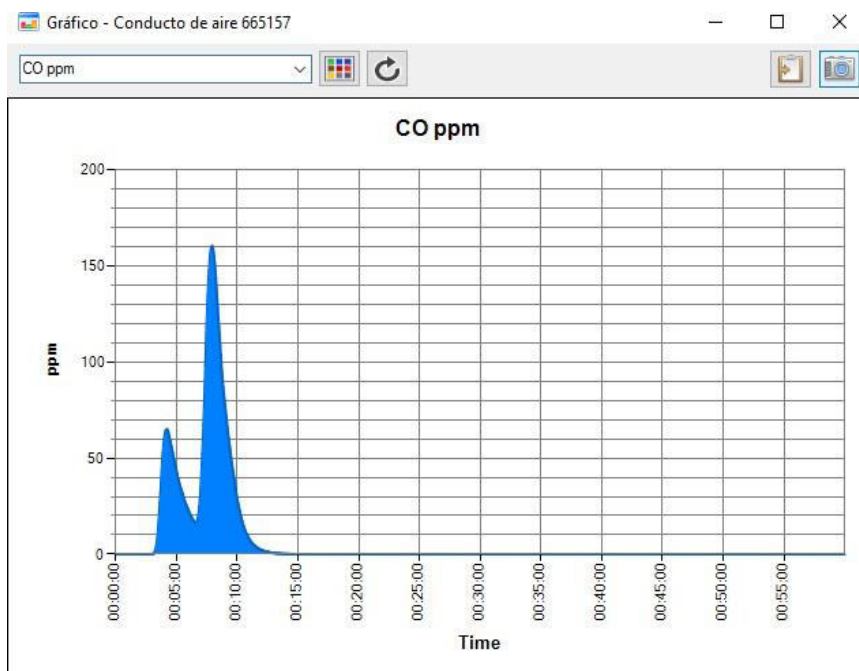
Cronograma de evacuación de gases de CO de 0 a 20 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-11.



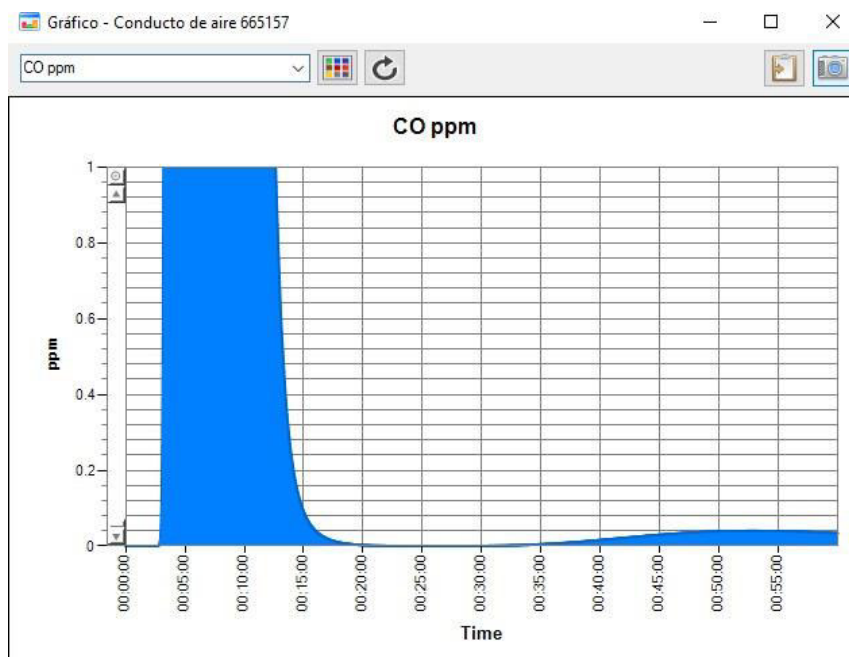
Etapa 02

Rampa 01 (CV-02)

CV-02 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 13 minutos respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura

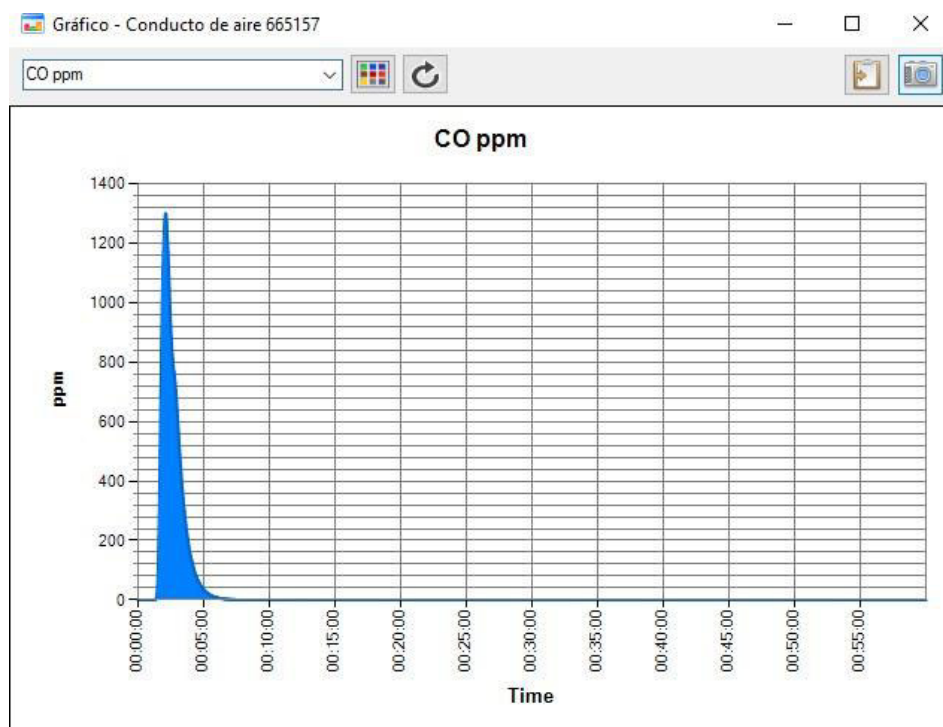


Cronograma de evacuación de gases de CO de 0 a 1 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-02.

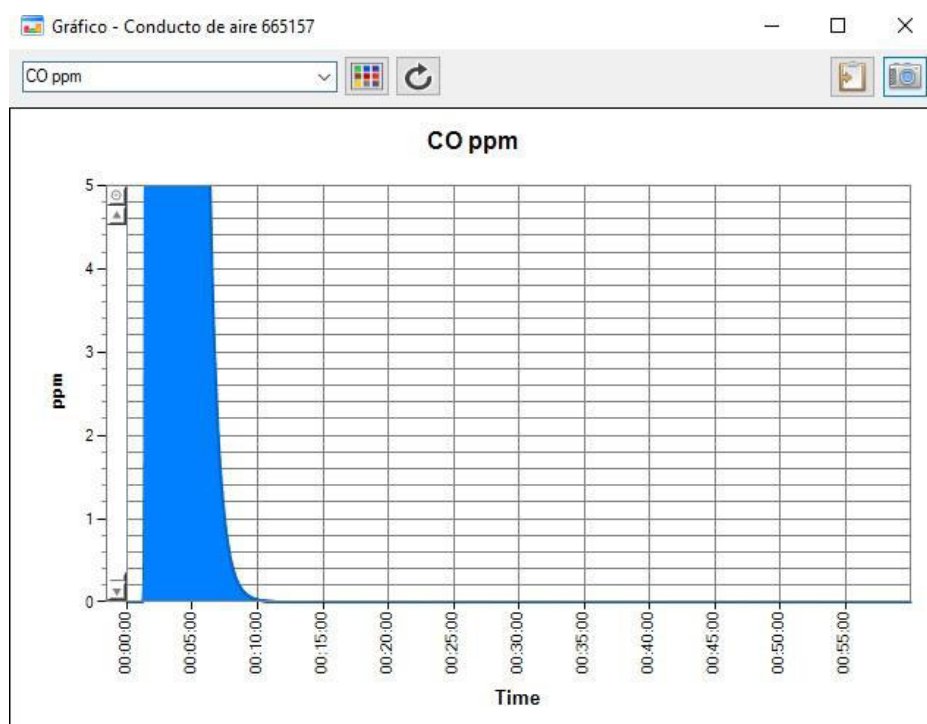


Rampa 01 (CV-08)

CV-08 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 5 minutos respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura

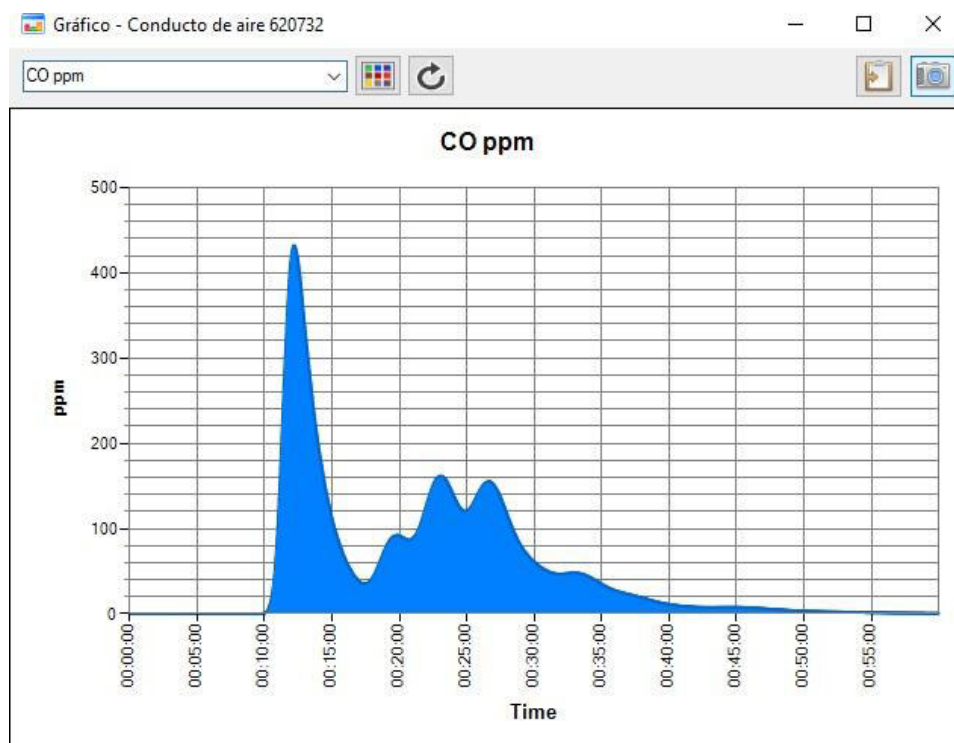


Cronograma de evacuación de gases de CO de 0 a 5 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-08.

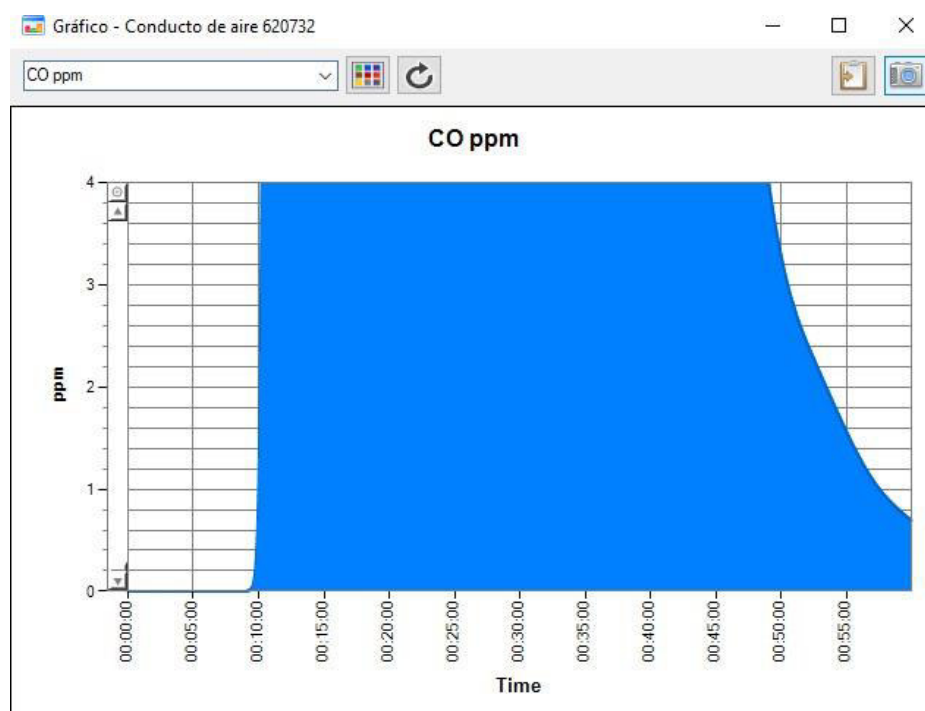


Rampa 02 (CV-01)

CV-01 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 35 minutos comprendidos entre 00:10 y 0:45 min, respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura

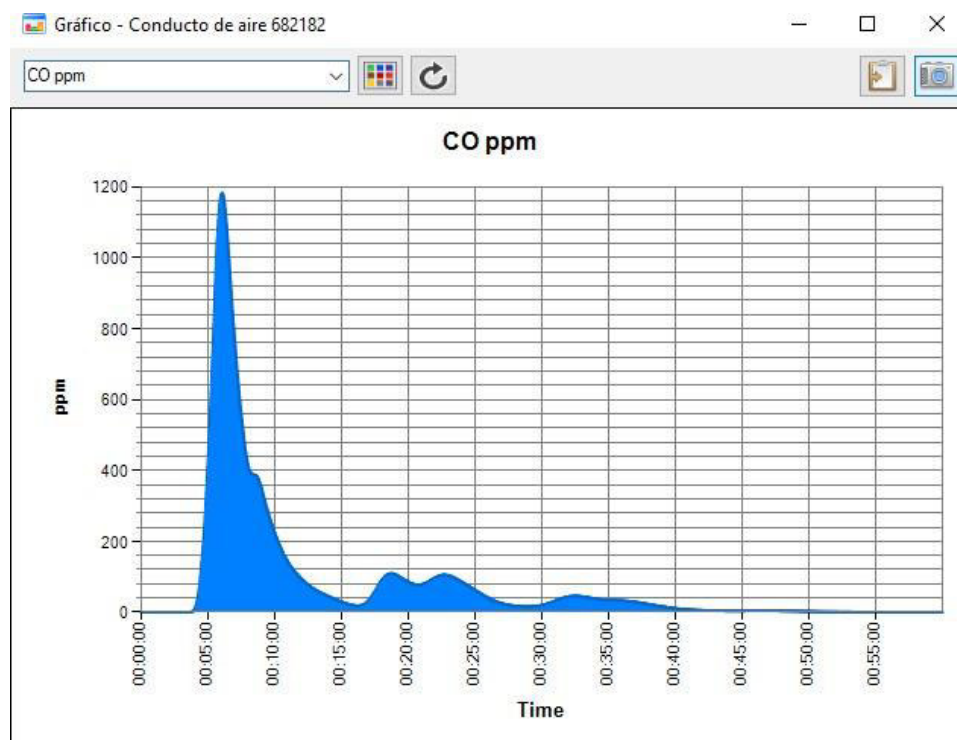


Cronograma de evacuación de gases de CO de 0 a 4 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-01.

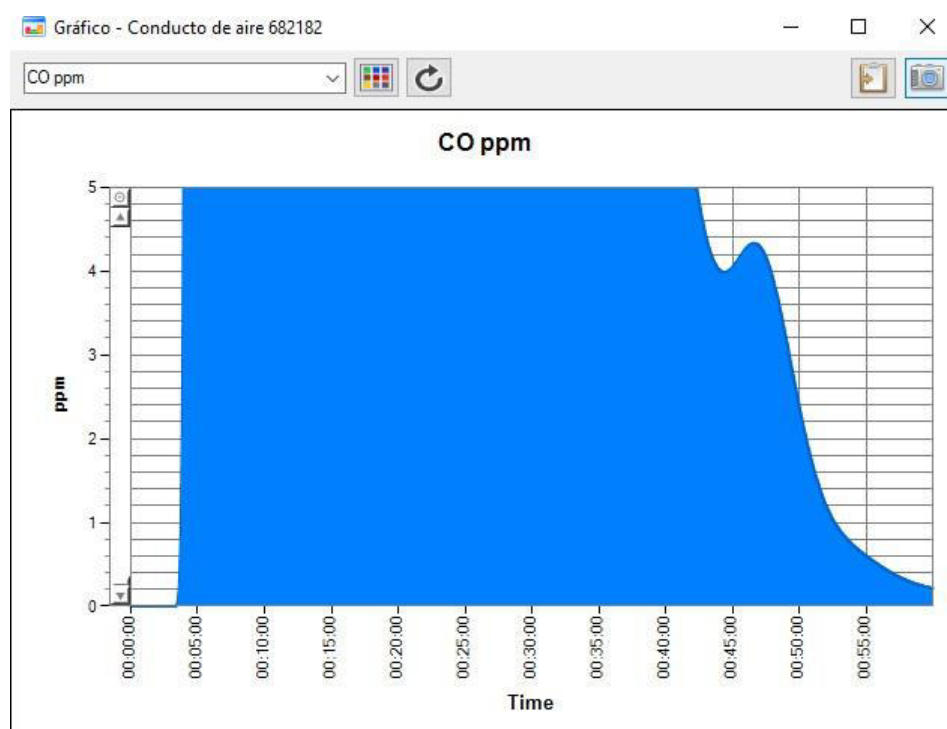


Rampa 02 (CV-13)

CV-13 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 40 minutos, respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura

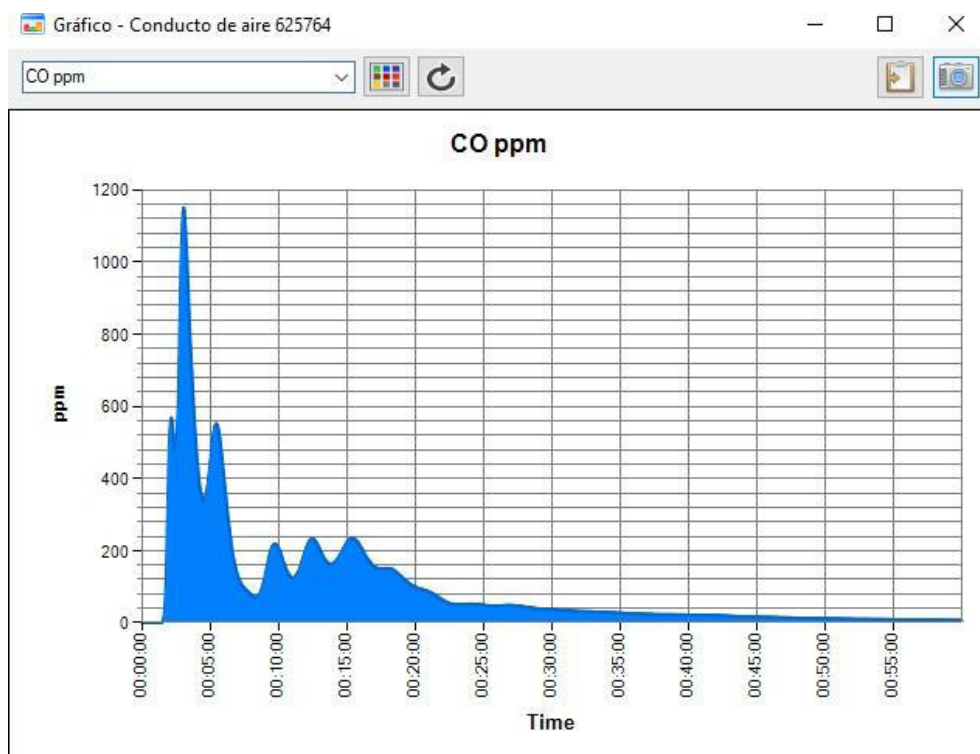


Cronograma de evacuación de gases de CO de 0 a 5 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-13.

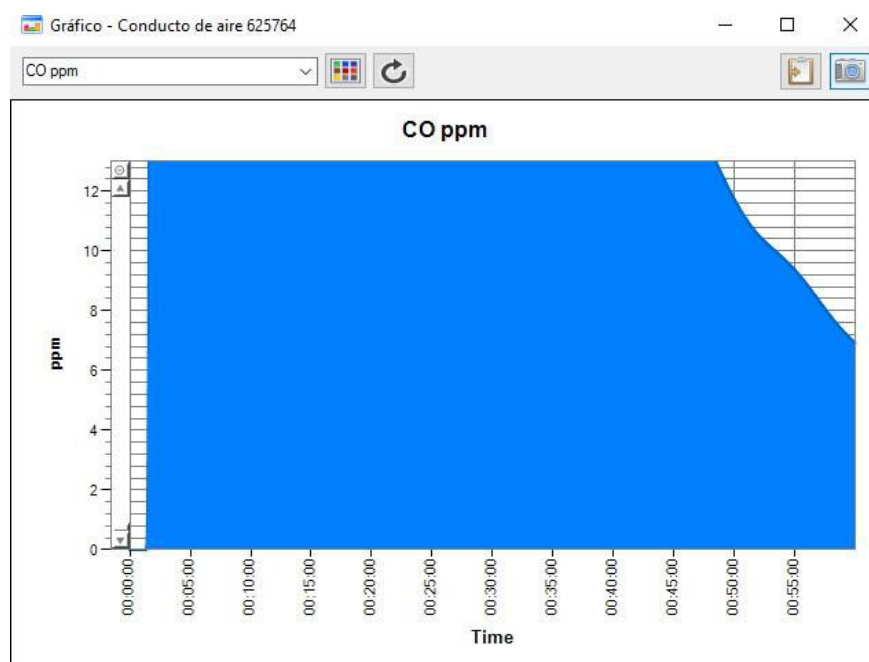


Rampa 03 (CV-09)

CV-09 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 50 minutos, respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura

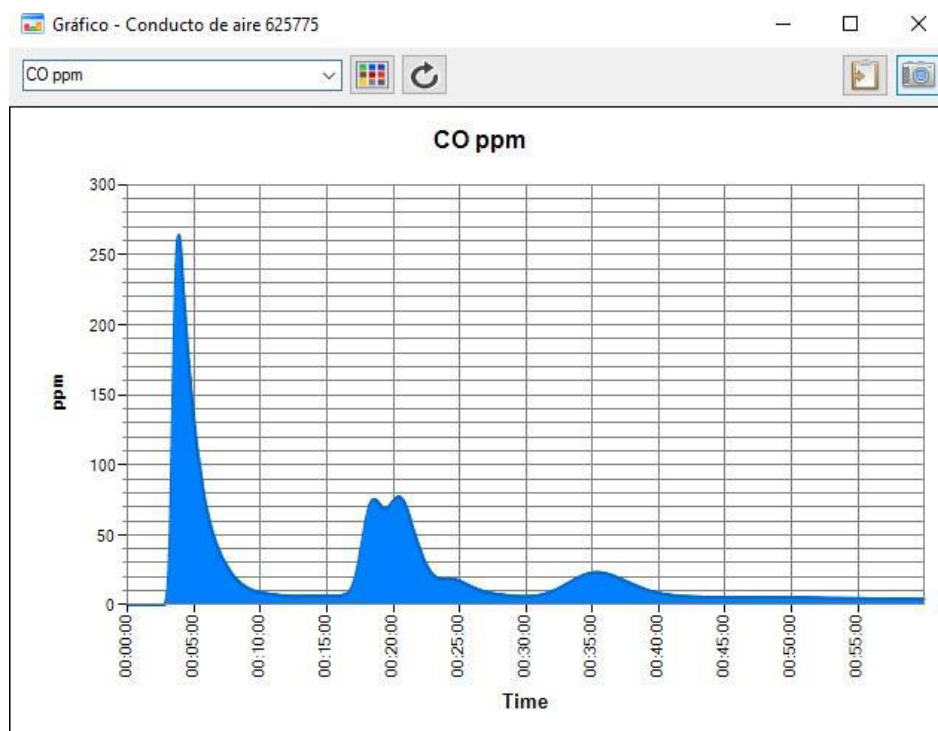


Cronograma de evacuación de gases de CO de 0 a 12 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-09.



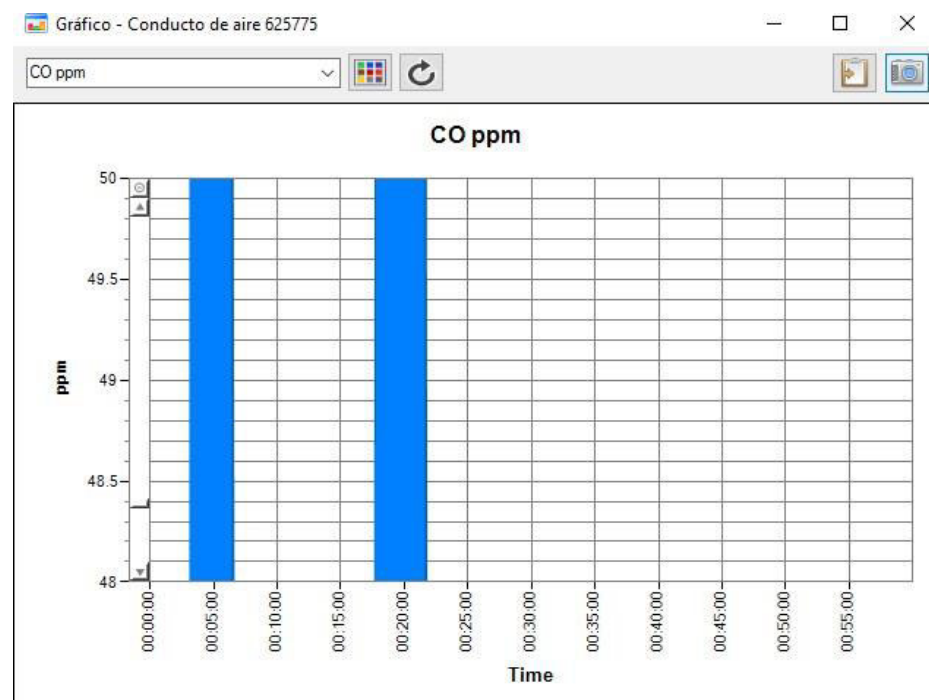
Rampa 04 (CV-11)

CV-11 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 40 minutos, respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura



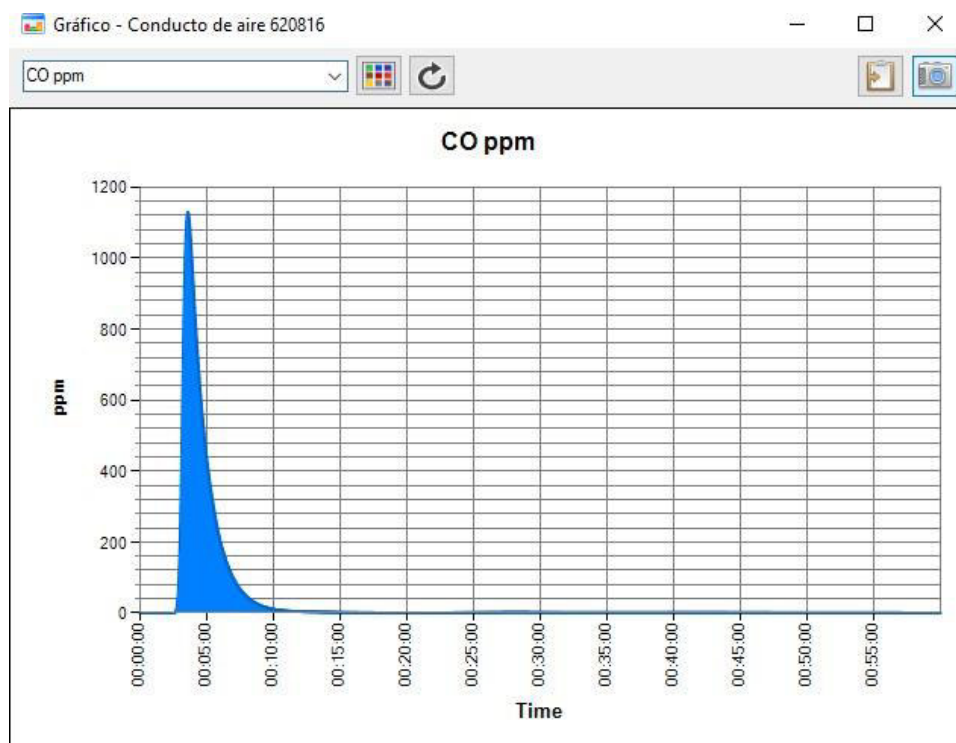
Cronograma de evacuación de gases de CO de 48 a 50 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-

11.

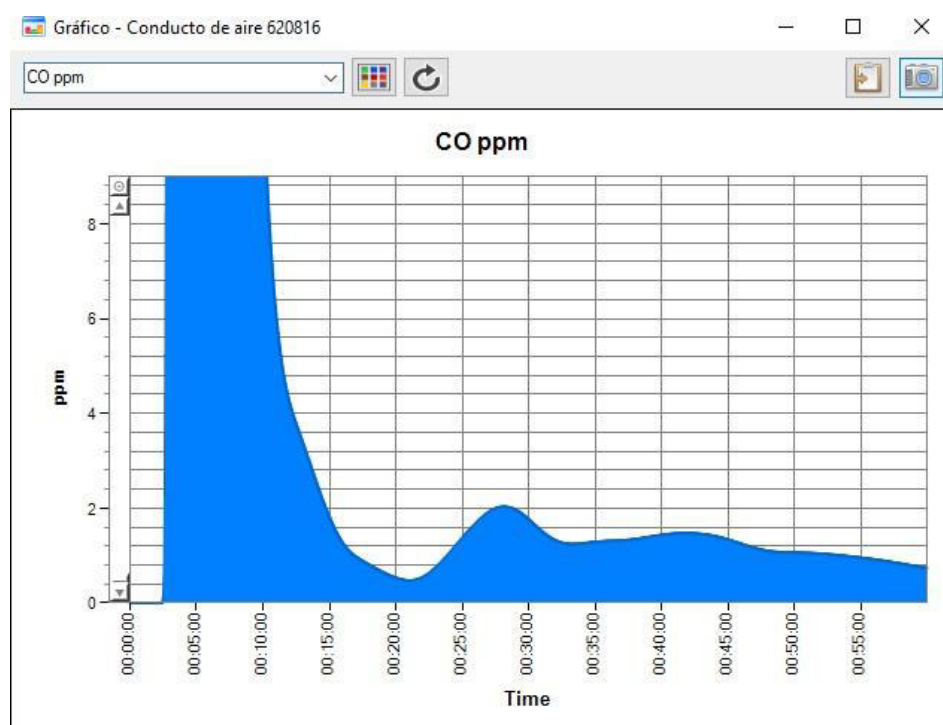


Rampa 04 (CV-15)

CV-15 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 10 minutos, respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura



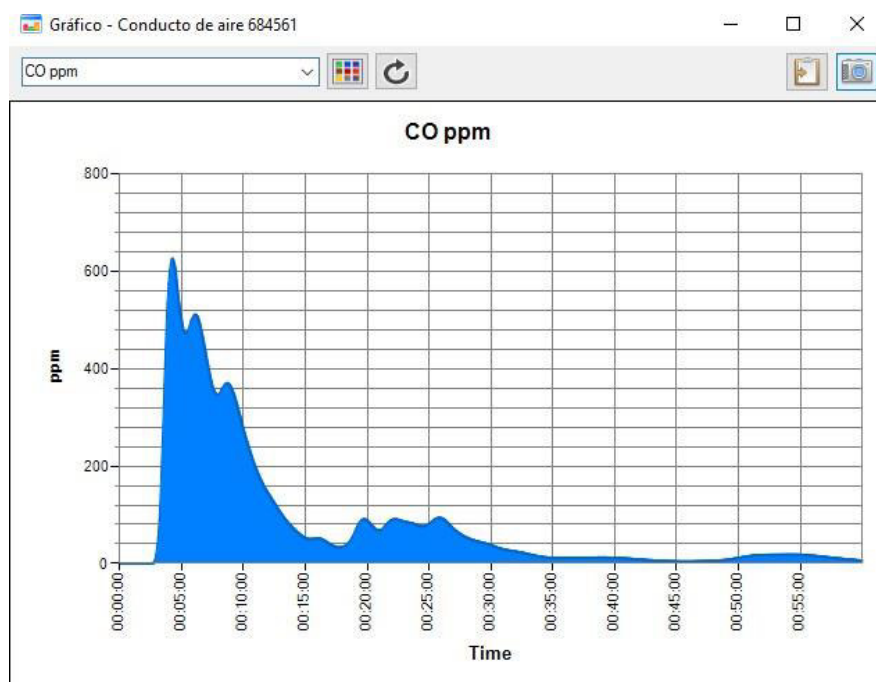
Cronograma de evacuación de gases de CO de 0 a 8 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-15.



Etapa 03

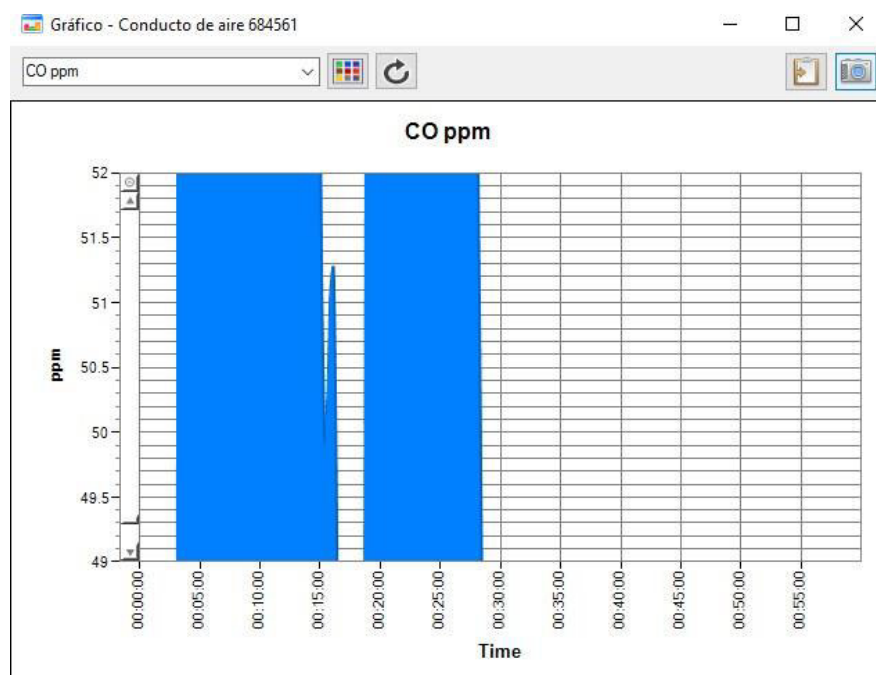
Rampa 02 (CV-13)

CV-13 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 35 minutos, respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura



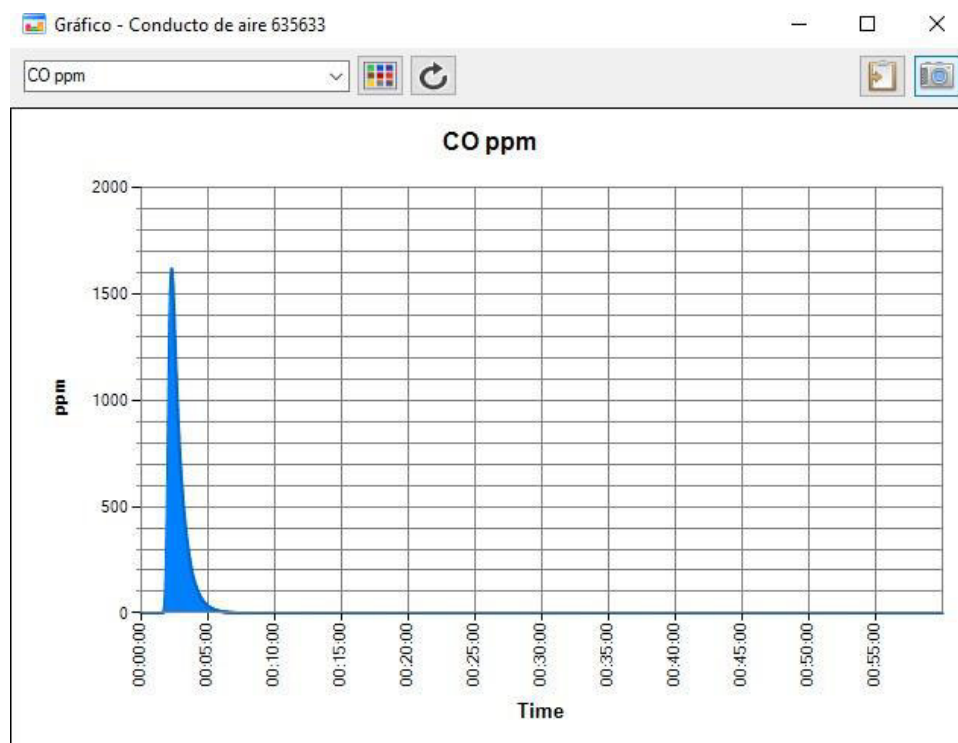
Cronograma de evacuación de gases de CO de 49 a 52 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-

13.



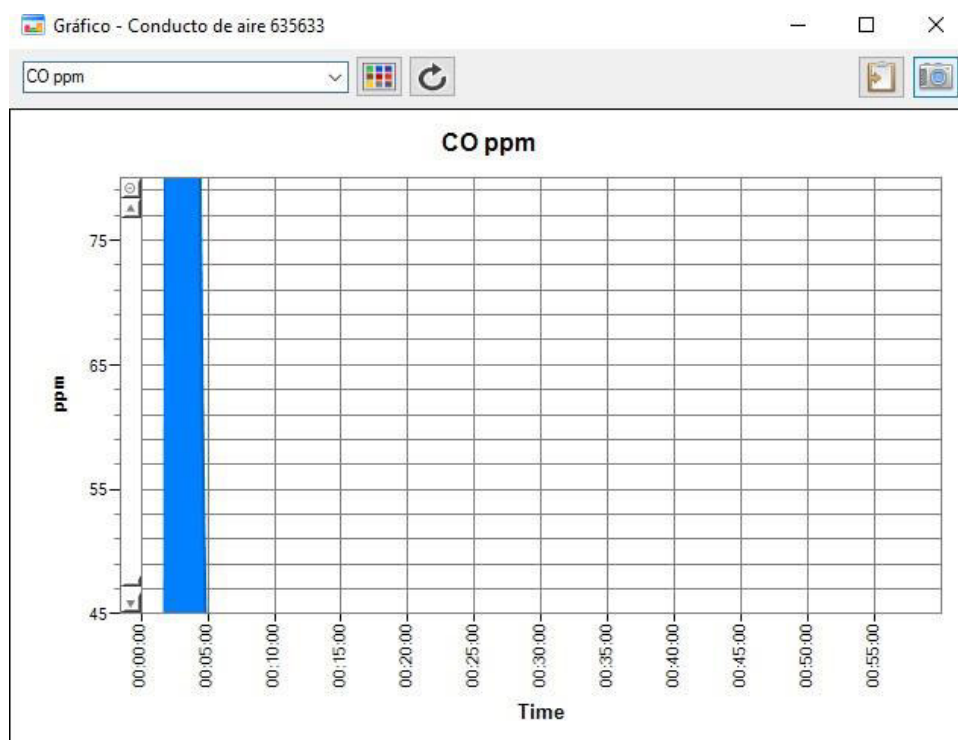
Rampa 03 (CV-09)

CV-09 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 5 minutos, respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura



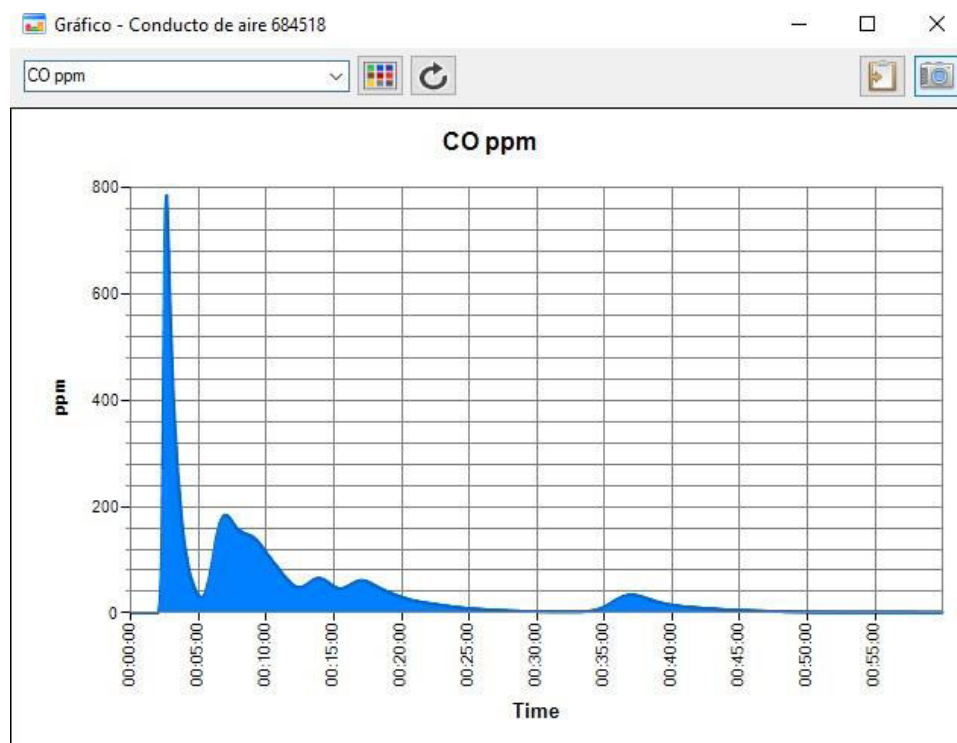
Cronograma de evacuación de gases de CO de 45 a 75 ppm posterior al disparo en el pozo:
CV-

09.



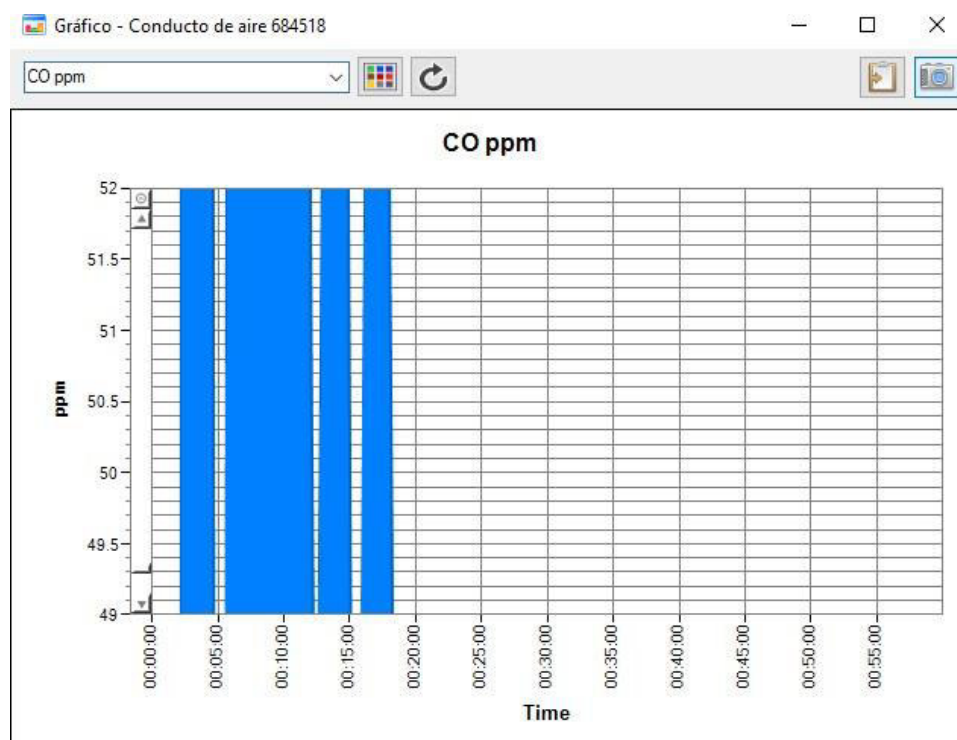
Rampa 03 (CV-16)

CV-16 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 25 minutos, respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura



Cronograma de evacuación de gases de CO de 49 a 52 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-

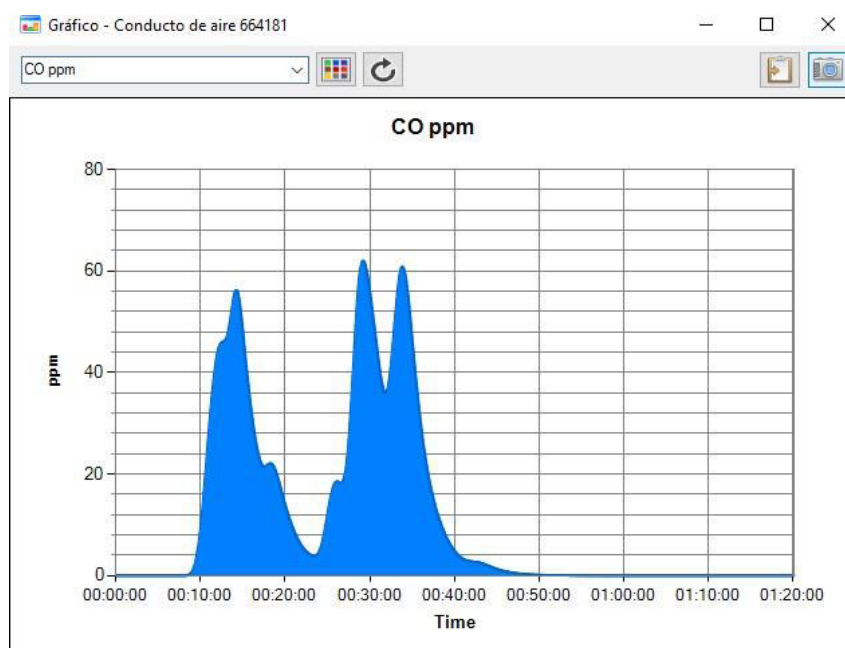
16.



Etapa 04

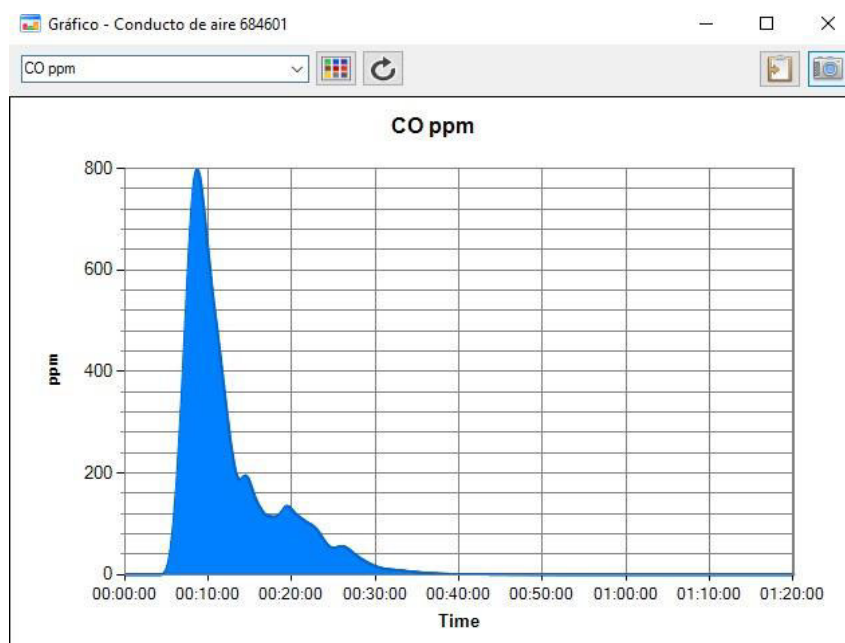
Rampa 02 (CV-01)

CV-01 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 50 minutos, respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura



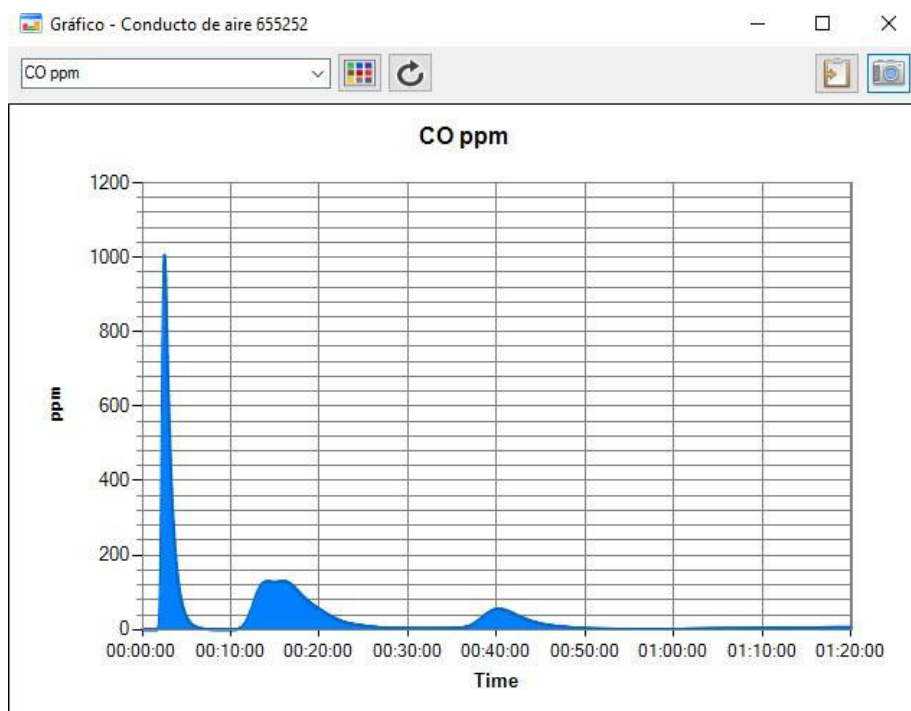
Rampa 02 (CV-13)

CV-13 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 35 minutos, respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura



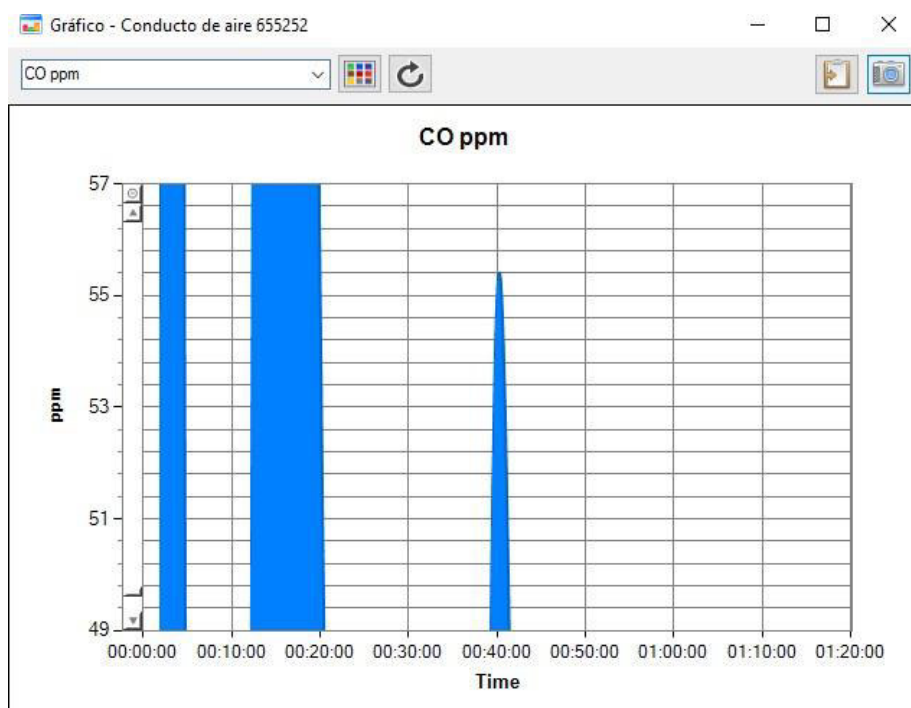
Rampa 03 (CV-09)

CV-09 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 10 minutos por periodos de tiempo, respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura



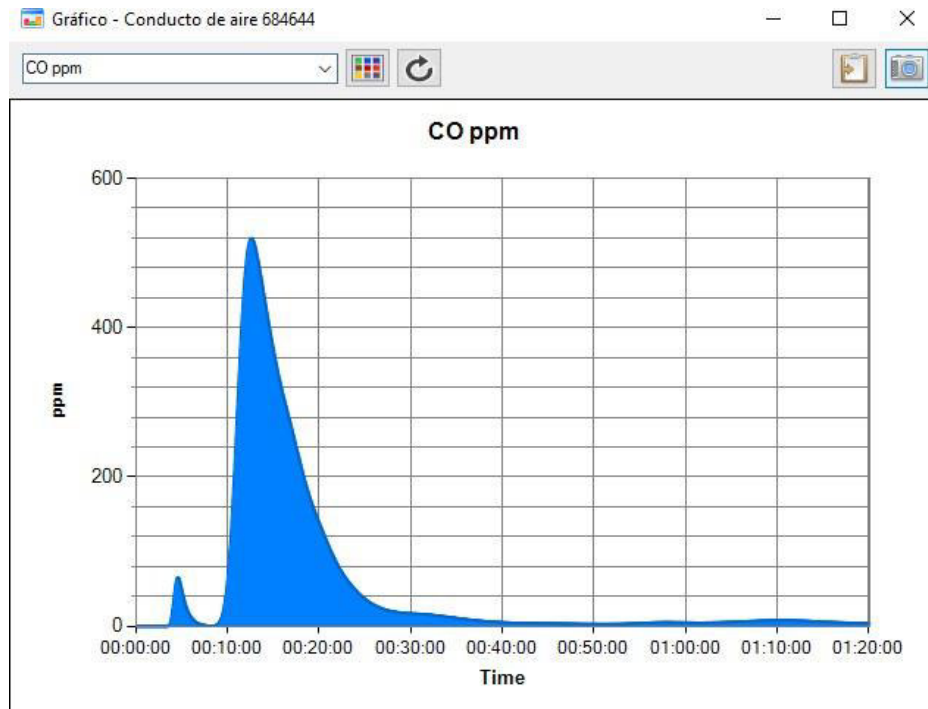
Cronograma de evacuación de gases de CO de 49 a 57 ppm posterior al disparo en el pozo: CV-

09.



Rampa 03 (CV-16)

CV-16 en este pozo de extracción se ha determinado tiempos de extracción de CO correspondiente a 40 minutos por periodos de tiempo, respecto a una evaluación global tal como se aprecia en la siguiente figura



Cronograma de evacuación de gases de CO de 49 a 51 ppm posterior al disparo en el pozo: CV- 09.

