

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL MINADO DEL CUERPO
MINERALIZADO MELISSA MINA CATALINA HUANCA SAC. 2021”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE MINAS
PRESENTADO POR FREDY PARIONA CUARESMA**

ASESOR

Dr. Ing. Indalecio Quispe Rodríguez

AYACUCHO - PERÚ

2022

**“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS****ACTA N° 062-2022-FIMGC**

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 228-2022-FIMGC-D**, siendo el veintidós días del mes de agosto del 2022, a horas 8:00 a.m.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado - Asesor el **Dr. Ing. Indalecio QUISPE RODRÍGUEZ**, el Jurado **MSc. Ing. Efraín César ALARCÓN MEDINA**, el Jurado **Mg. Ing. Roberto Juan GUTIÉRREZ PALOMINO**, secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada **“DISEÑO DE SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL MINADO DEL CUERPO MINERALIZADO MELISSA-MINA CATALINA HUANCA SAC-2021”**, sustentado por el Sr. **Fredy PARIONA CUARESMA**, Bachiller en Ingeniería de Minas.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **13 (TRECE)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



Firmado digitalmente por
Dr. Efraín Elías Porras
Flores
Fecha: 2022.08.30 18:44:52
-09'00'

Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES
presidente

Dr. Ing. Indalecio QUISPE RODRÍGUEZ
Jurado Asesor

MSc. Ing. Efraín César ALARCÓN MEDINA
Jurado

Firmado digitalmente por
Mg. Ing. Roberto J.
Gutierrez
Palomino

Mg. Ing. Roberto Juan GUTIÉRREZ PALOMINO
Jurado

Firmado digitalmente por
LEZAMA CUELLAR
CHRISTIAN

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Secretario del Proceso

c.c.:
Bach. Fredy PARIONA CUARESMA
Jurados (4)
Archivo



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 059-2022-FIMGC

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH y Resolución Decanal N° 158-2021-FIMGC-UNSCH-D, deja constancia que Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : PARIONA CUARESMA, Fredy
Escuela Profesional : INGENIERÍA DE MINAS
Título de la Tesis : "DISEÑO DE SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL MINADO DEL CUERPO MINERALIZADO MELISSA-MINA CATALINA HUANCA SAC-2021"
Evaluación de la Originalidad : 22 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 1882489277

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 15 de agosto del 2022

Firmado digitalmente
por LEZAMA CUELLAR
CHRISTIAN

Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
de la FIMGC

(X) Con depósito para Sustentación y Tramite de Titulo

"DISEÑO DE SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL MINADO DEL CUERPO MINERALIZADO MELISSA-MINA CATALINA HUANCA SAC-2021"

por Fredy Pariona Cuaresma

Fecha de entrega: 14-ago-2022 06:40p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1882489277

Nombre del archivo: Tesis_FREDY_PARIONA_CUARESMA_EPIM.pdf (1.51M)

Total de palabras: 14631

Total de caracteres: 71277

"DISEÑO DE SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL MINADO DEL CUERPO MINERALIZADO MELISSA-MINA CATALINA HUANCA SAC-2021"

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	idoc.pub Fuente de Internet	3%
4	vsip.info Fuente de Internet	2%
5	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	docslide.us Fuente de Internet	1%
7	app.ingemmet.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%

9	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
10	docplayer.es Fuente de Internet	1 %
11	repositorio.unam.edu.pe Fuente de Internet	1 %
12	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
13	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	ar.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
15	www.powershow.com Fuente de Internet	<1 %
16	www.bausate.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	Repositorio.Unsa.Edu.Pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía Activo

DEDICATORIA

Para Dios y mis padres por darme la vida, motivación para seguir un camino correcto a pesar de las dificultades, por los sacrificios para seguir formándome como profesional.

Para mis hermanos, que son mi apoyo incondicional en mi formación académica gracias a ellos he logrado cumplir mis metas, gracias a su comprensión y amor; a mi querida hermana Aydee, que siempre estuvo dándome apoyo constante para lograr en lo que me proponga.

AGRADECIMIENTO

Así mismo agradezco a la empresa Minera Catalina Huanca S.A.C. a la persona Ing. Fonttis Calderón, Guido Francesco, ingeniero de planeamiento de ventilación de la empresa minera Catalina Huanca S.A.C., por facilitar la elaboración del presente trabajo de investigación en la empresa minera.

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE	4
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.1. Problema principal	17
1.2.2. Problemas secundarios	17
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos	18
1.4. HIPÓTESIS	18
1.4.1. Hipótesis principal	18
1.4.2. Hipótesis secundaria	18

	5
1.5. VARIABLES E INDICADORES	19
1.5.1. Variable independiente	19
1.5.2. Variable dependiente	19
1.6. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	19
1.6.1. Justificación	19
1.6.2. Importancia	20
1.7. ALCANCES Y LIMITACIONES	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.2. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	24
2.3. CLIMA Y VEGETACIÓN	25
2.4. FISIOGRAFÍA	25
2.5. RECURSOS DE LA ZONA	25
2.6. GEOLOGÍA	26
2.6.1. Geología regional	26
2.6.2. Geología local	26
2.6.3. Geología Estructural	27
2.6.4. Geología económica	28
2.7. DISEÑO DE MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN	30

2.7.1. Método Minado Melissa taladros largos en cuerpos	30
2.7.2. Labores de exploración	33
2.7.3. Labores de preparación y desarrollos	33
2.7.4. Labores de explotación	33

CAPÍTULO III

DISEÑO DE SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL MINADO DEL CUERPO

MINERALIZADO MELISSA

3.1. MARCO LEGAL	34
3.2. PRINCIPIOS DE VENTILACIÓN	35
3.3. PARÁMETROS DE VENTILACIÓN	35
3.3.1. Equipos utilizados para la medición de ventilación	37
3.3.2. Determinación del coeficiente de fricción	40
3.3.3. Determinación del área y el perímetro del conducto	42
3.3.4. Medición de la velocidad del aire	42
3.3.5. Cálculo de la presión barométrica	43
3.3.6. Cálculo de la densidad del aire	43
3.4. CONDICIONES TERMOAMBIENTALES EN LA EXPLOTACIÓN DE CUERPO MELISSA	44
3.5. PLANEAMIENTO DE VENTILACIÓN PARA LA EXPLOTACIÓN DE CUERPO MELISSA	44

	7
3.6. DISEÑO DE CIRCUITOS DE VENTILACIÓN	52
3.6.1. Diseño de circuitos para plan de contingencia	56
3.7. REQUERIMIENTO DE AIRE PARA LA EXPLOTACIÓN	57
3.7.1. Requerimiento de aire por el número de trabajadores (QTr)	59
3.7.2. Requerimiento de aire por temperatura en las labores de trabajo (QTe)	59
3.7.3. Requerimiento de aire por equipos con motor petrolero (QEq)	60
3.7.4. Caudal de aire que se pierde por fugas (QFu)	62
3.7.5. Caudal de aire por la emisión del gas de estrato, dióxido de carbono (CO_2)	62
3.8. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE ESPECIALIDAD	67
3.9. BALANCE DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA MINA	70
3.10. COBERTURA DE REQUERIMIENTO DE AIRE	70
3.11. DIÁMETRO ECONÓMICO DE RAISE BORER	71
3.12. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL CUERPO MELISSA	77

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MATERIALES	78
4.2. METODOLOGÍA	78
4.2.1. Nivel y tipo de investigación	79

	8
4.2.2. Diseño de investigación	79
4.2.3. Técnicas de Recolección de Datos	79
4.2.4. Análisis de Datos	80
4.2.4.1. Ficha de recolección de datos	81
CAPÍTULO V	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS	82
5.1.1. Prueba de normalidad de la variable sistema de ventilación	82
5.2. RESULTADOS	85
5.3. DISCUSIÓN	85
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES.	89
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	82
ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA	92

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1: Ubicación de Mina Catalina Huanca	24
Figura 2.2: Vista de sección del Proyecto Melissa	31
Figura 2.3: Plano del NV-01 del Proyecto Melissa	32
Figura 2.4: Plano del NV-02 del Proyecto Melissa	32
Figura 3.1: Testo 480-Equipo multifunción para medición de ventilación	37
Figura 3.2: Procedimiento de medición de las irregularidades en una labora subterránea horizontal.	41
Figura 3.3: Construcción de niveles en cuerpo mineralizado Melissa.	44
Figura 3.4: Nomograma para determinar la temperatura efectiva del aire.	48
Figura 3.5: (a) Psicrómetro con bulbo seco y bulbo húmedo, (b) psicrómetro digital.	50
Figura 3.6: Cuerpos mineralizados en profundidad de la mina Catalina Huanca: Doña María Piso, Melissa y Gloria.	51
Figura 3.7: Diseño del circuito de ventilación para la explotación de Cuerpo Melissa.	56
Figura 3.8: Circuitos de aire de ventilación con la instalación de sensores de gas CO ₂ .	57
Figura 3.9: Proceso de respiración de un trabajador.	64
Figura 3.10: Diámetro óptimo de RB para diferentes caudales de aire.	76

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1: Vías de acceso a la Unidad Catalina Huanca	24
Tabla 3.1: Monitoreo del gas natural CO ₂ , durante la construcción de Niveles en el cuerpo mineralizado Melissa.	45
Tabla 3.2: Psicométrica para el cálculo de la humedad relativa en %.	49
Tabla 3.3: Datos para el cálculo de requerimiento de aire.	58
Tabla 3.4: Velocidad Mínima.	59
Tabla 3.5: Equipos diésel que trabajarán secuencialmente en los Nivel 1, 2, 3 en el cuerpo Melissa.	60
Tabla 3.6: Capacidad de los ventiladores para lograr ppm debajo de los LMPs.	64
Tabla 3.7: Tasas típicas de consumo de O ₂ y producción de CO ₂ durante la respiración humana.	65
Tabla 3.8: La demanda total de aire para la explotación del cuerpo Melissa.	67
Tabla 3.9: Diámetros (ϕ) que perforan los RB.	75
Tabla 3.10: Diámetro óptimo de RB para diferentes caudales de aire.	76
Tabla 3.11: Costo de implementación de sistema de ventilación para el Cuerpo Melissa.	77
Tabla 3.12: Estadísticos descriptivos para la prueba de Wilcoxon	84
Tabla 3.13: Estadísticos de prueba de Wilcoxon.	84

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1: Plano de Nivel 1 Mina Catalina Huanca	54
Plano 2: Departamento de Planeamiento Mina Catalina Huanca.	55

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación es plantear el diseño de sistema de ventilación que garantice el requerimiento de aire fresco necesario para el nuevo minado del cuerpo Melissa. La metodología del trabajo es analítico-sintético, para el cual previamente se recopiló los datos en el campo y la información documental, mediante los cuales analicé el sistema de minado actual, la ventilación actual de la mina Catalina Huanca para plantear la ventilación del nuevo sistema de minado del Cuerpo Melissa; la otra metodología es descriptiva-explicativa, mediante el cual se optimizó los circuitos de ventilación, la ubicación y el diámetro óptimo de los Raise Borers para la operación futura de la mina, utilizando el software VentSim; también en este análisis se consideró el modo de la dilución de los gases de estrato para mantener dentro de los LMP. Como resultado se obtiene el uso del ventilador aspirante con capacidad de 200,000 CFM que circularán por los conductos principales de ventilación. El caudal de aire necesario para mantener la dilución y evacuación de todos los gases tóxicos de la mina, se requiere 8.21 CFM de aire fresco por cada 1 ppm de CO₂.

Palabras claves: Diseño de ventilación minera, ventilación de gases de estrato.

ABSTRACT

The objective of the present research work is to propose the design of a ventilation system that guarantees the fresh air requirement necessary for the new mining of the Melissa body. The methodology of the work is analytical-synthetic, for which data was previously collected in the field and documentary information, through which I analyzed the current mining system, the current ventilation of the Catalina Huanca mine to propose the ventilation of the new mining system of the Melissa Body; the other methodology is descriptive-explanatory, through which the ventilation circuits, the location and the optimal diameter of the Raise Borers for the future operation of the mine were optimized, using VentSim software; also in this analysis the dilution mode of the stratum gases was considered in order to keep within the LMP. As a result, a 200,000 CFM capacity exhaust fan will be used to circulate through the main ventilation ducts. The air flow necessary to maintain the dilution and evacuation of all toxic gases from the mine requires 8.21 CFM of fresh air for every 1 ppm of CO₂.

Key words: Mine ventilation design, strata gas ventilation.

INTRODUCCIÓN

Cada unidad minera es una realidad distinta con sistemas de minado y sistemas de ventilación particulares que exigen su propio estudio, por lo que existen investigaciones del sistema de ventilación prácticamente para todas las minas. Dentro de esa concepción se realizó el sistema de ventilación para la nueva explotación del cuerpo mineralizado Melissa, que está considerado en el planeamiento operacional de la Mina Catalina Huanca.

La metodología utilizada son los métodos **Analítico-Sintético y Descriptivo-Explicativo** que me permitió analizar el sistema de ventilación actual y plantear el circuito de ventilación para el minado del cuerpo Melissa con una red de ventilación que garantiza circular los 200000 CFM a través de chimeneas de ventilación diseñadas con diámetro óptimo.

El sistema de ventilación para el minado del Cuerpo Melissa se realizó dentro de dos escenarios que exige la realidad ambiental de la mina Catalina Huanca por la presencia de las **maquinarias diésel** y la alta **emisión del gas de estrato CO₂**, para este último parámetro se requiere 8.21 CFM de aire fresco por cada 1 ppm de CO₂ para mantener debajo de su LMP de 5000 ppm; de tal manera se garantiza un flujo de aire de 200000 CFM con una cobertura superior a 105%.

Con esta finalidad el presente trabajo se ha estructurado en 5 capítulos:

El capítulo I **Planteamiento del problema**, que analiza la problemática de ventilación para el minado del cuerpo Melissa. El capítulo II **Marco teórico**, que analiza las investigaciones realizadas y los diferentes temas que da el soporte técnico al presente estudio. El capítulo III

Diseño del sistema de ventilación para el minado del cuerpo Melissa, que plantea el requerimiento de aire fresco para toda la operación minera del cuerpo Melissa. El capítulo IV **Materiales y métodos**, que describe la metodología utilizada para el análisis del sistema de ventilación. El capítulo V son los **resultados y la discusión** del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El objetivo, estrategias y afines en las empresas mineras se sujetan en la identificación de los peligros, evaluación y control de riesgos, así como la implementación a los procedimientos escritos de trabajo seguro (PETS), Catalina Huanca SAC, con su Unidad Catalina Huanca, la cual se encuentra ubicado en el departamento de Ayacucho, en la provincia de Víctor Fajardo, específicamente en el distrito de Canaria, cuenta con una producción diaria de 2,500 toneladas métricas aproximadamente (TMPD); ya que se tiene una alta producción, también se tiene bastante personal además de equipos, los cuales demandan más aire fresco, en donde al no desarrollarse una mejor red de ventilación, produce una falta de aire necesario, de la misma manera, la minera carece de un diseño en 3D para la planificación de la extracción del cuerpo mineralizado Melissa, a fin de generar proyectos que alivie y disminuya la problemática de la minería; el problema pilar de la investigación es la falta de un sistema de ventilación que logre evacuar los gases generados por voladura en la Mina Catalina Huanca SAC. Esto indica que la compañía minera carece de un circuito de ventilación el cual elimine los gases contaminados, lo cual trae como consecuencia diversas enfermedades ocupacionales que en el peor del caso

puede llegar hasta la muerte y por ende la paralización de actividades, lo cual indudablemente va a afectar a la imagen de la compañía y, sobre todo, repercutirá en el tema financiero. Es oportuno mencionar que el titular de la Mina Catalina Huanca está obligado a brindar un ambiente de trabajo confortable, que cuente con todos los estándares de seguridad, considerando la cobertura de aire necesaria no solo para los equipos diésel, sino también para los trabajadores y de manera especial para la dilución los gases de estrato (CO₂) que aparecieron en las labores de la mina. Frente a todo lo expuesto se genera la formulación del problema: ¿En qué medida el diseño de sistema de ventilación garantizará el requerimiento de aire para el minado del cuerpo Melissa en la mina Catalina Huanca - 2021?

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema principal

¿En qué medida el diseño de sistema de ventilación garantizará el requerimiento de aire para el minado del cuerpo Melissa en la mina Catalina Huanca - 2021?

1.2.2. Problemas secundarios

1. ¿Cuánto es el caudal de aire fresco que circularán por los conductos principales de ventilación?
2. ¿Cuánto es la capacidad de los ventiladores que garantiza el requerimiento de aire para personal y equipos de la mina?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- Proponer un diseño de sistema de ventilación que garantice el requerimiento de aire fresco necesario para el sistema de minado del cuerpo Melissa 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

- Simular el caudal de aire fresco que circularán por los conductos principales de ventilación.
- Determinar la ubicación y la capacidad de los ventiladores que cubra el requerimiento de aire para personal y maquinarias.
- Evaluar el diseño del sistema de ventilación con el software Ventsim para plantear un sistema de ventilación adecuado.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis principal

- El diseño del sistema de ventilación garantiza la circulación de aire fresco y reducción de gases en cantidad y calidad necesaria para el minado del cuerpo Melissa 2021.

1.4.2. Hipótesis secundaria

- El volumen de aire fresco necesario circulará por los conductos principales de ventilación.
- La ubicación y la capacidad de los ventiladores garantizan el ingreso de aire fresco para el personal y maquinarias durante el minado del cuerpo Melissa.

- El diseño del sistema de ventilación con el software Ventsim permitirá identificar significativamente un sistema de ventilación adecuado.

1.5. VARIABLES E INDICADORES

1.5.1. Variable independiente

- Diseño del sistema de ventilación.

Indicadores

- Caudal de aire fresco.
- Ubicación y capacidad de los ventiladores.

1.5.2. Variable dependiente

- Minado del cuerpo mineralizado Melissa.

Indicadores

- Conductos principales de ventilación.
- Cantidad de trabajadores y maquinarias para el minado del cuerpo Melissa

1.6. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.6.1. Justificación

En la extracción de minerales en minería subterráneas el sistema de ventilación es fundamental para el desarrollo de operaciones mineras que es gestionado como parte de la administración integral de la empresa, es así que cada labor debe contar con una ventilación adecuada, cumpliendo con las normas legales establecidas por el estado, lo que justifica plantear un diseño

del sistema de ventilación para la preparación y explotación del cuerpo mineralizado Melissa, para cumplir con el requerimiento de aire. A causa de los problemas de ventilación que presentan los niveles inferiores, por altas concentración de dióxido de carbono CO₂ gas encontrado ocluido en las labores. Para la sostenibilidad de las operaciones mineras subterráneas es necesario realizar un estudio de ventilación para la identificación del circuito integral de ventilación, que en pocas palabras es realizar el diseño 3D del sistema de ventilación.

1.6.2. Importancia

El presente proyecto tiene como importancia principal la realización de un modelo del circuito de ventilación en 3D además del estudio a nivel conceptual, en el diseño mencionado se abarcan proyectos a corto plazo, tal como la incorporación de una chimenea, el circuito de ventilación se plantea instalar un ventilador de 200,000 cfm; garantizar el minado del cuerpo Melissa.

1.7. ALCANCES Y LIMITACIONES

Este estudio permitirá la mejoría de la selectividad de las operaciones de producción se debe tomar en cuenta con el propósito de instituir las condiciones óptimas de trabajo en la ventilación de sus labores que deben estar de acuerdo a las exigencias en cuanto se describe a la cantidad y calidad del aire solicitado que ofrezca complacencia a los trabajadores, la conservación de las maquinarias o equipos usados en las operaciones.

En cuanto a las limitaciones de este estudio se han presentado dificultades como las condiciones de ventiladores en la minería y los distintos puntos para el diseño del sistema de ventilación en cuanto al minado del cuerpo mineralizado Melissa.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para la realización de los antecedentes existen investigaciones ejecutadas sobre el sistema de ventilación para el minado del cuerpo mineralizado.

1.- ANTECEDENTES INTERNACIONALES

FUENTES Y RAMÍREZ (2019). Investigación “Modelamiento del sistema de ventilación y control de metano con el simulador Ventsim™ en la mina subterránea de carbón fezmine, Polonia”, cuyo propósito fue analizar el sistema de ventilación, el objetivo se cumple después de una rigurosa labor de recopilación y análisis de datos.

De acuerdo a la información disponible, es posible definir un modelo proyectado del sistema de Ventilación, cuyo grado de representatividad de la realidad dependerá de la calidad y cantidad de datos con los que se cuentan.

RIVERA (2020). Investigación “Análisis del circuito de ventilación mediante simulación con Ventsim™ de una mina subterránea de carbón artesanal en la provincia de Arauco, región del Biobío”, cuyo propósito fue analizar el sistema de ventilación en una mina de carbón en la zona

de Arauco. Los resultados indican que el caudal de inyección aumenta un 251 m³/min la cual ha incrementado un 5% en el caudal con solo cambiando la perspectiva del ventilador, así también ha disminuido un 13% en la resistencia, para lo cual se tienen los siguientes parámetros: Cantidad requerida de aire para todas las labores en los diferentes niveles de la mina, esto involucra tanto a las labores de preparación como a las de desarrollo, y las diferentes áreas donde el personal desarrolla sus actividades. Concluyendo que la mejoría en los caudales de aire fresco ha aumentado en unos 5% las cuales este flujo podrá ser redestinado a ventilar otro frente de las labores.

2.- ANTECEDENTES NACIONALES

LLANO (2017), investigación “Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de Minería Sotrami S.A. – UEA Santa Filomena – aplicando el software Ventsim” ; el objetivo es realizar la evaluación integral del sistema de ventilación en Santa Filomena. El tipo de diseño es aplicado y una investigación exploratoria y descriptiva. Los resultados indican que el total del ingreso del aire es de 813 m³/min, salida es de 355 m³/min y un requerimiento de 244 m³/min, lo cual el mango de ventilación es de 18 pulgadas siendo reemplazadas por unas de 24 mangas para que el caudal sea aún mayor. Concluyendo que a menor diámetro de mangas menor será el caudal, es por ello que se reemplazó las mangas de 18 pulgadas por una de 24 pulgadas logrando así un mayor caudal en la mina.

PORTILLA Y VELARDE (2018). Investigación “Propuesta técnica de mejora del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea polimetálica – 2015”, cuyo propósito es la construcción de un sistema de ventilación la cual simule el sistema de ventilación principal de la mina. Las técnicas utilizadas es el modelo matemático y software de ventilación

establecidos en la aplicación directa. Los resultados indican que el análisis del aire de las maquinarias representa más del 90%, es por ello que se tiene que reevaluar la demanda de las maquinarias, en cuanto a los ventiladores cuenta con una auxiliar de 20000, 30000 y 60000 CFM. Concluyendo que se redujo un 30% en el nivel de concentración de los gases contaminantes dentro de las labores y se ha disminuido en un 62% en cuanto a los costos operativos.

INOFUENTE (2019). Estudio “Diseño y evaluación de alternativas del sistema de ventilación para el cuerpo Melissa Nv. 2775, con alta concentración de gases de dióxido de carbono (CO₂) – Unidad Minera Catalina Huanca”, cuyo objetivo es diseñar y evaluar las distintas alternativas para un sistema de ventilación. Los resultados indican que el requerimiento de aire es de 51 000 cfm para labores que contengan altas concentraciones de CO₂, para ello se debe utilizar ventiladores de 5 000 cfm de 10.5 pulgadas. Concluyendo que el sistema del caudal de aire ha sido positivo con unos 58 946 cfm con una temperatura de 116%, las velocidades están entre los 25 a 250 m/min y una disminución de temperatura de confort cuyo valor es de 24°C en las labores del nivel de 2775 en la minera.

QUISPE (2017). Informe “Caracterización y diseño del sistema de ventilación para mejora de la circulación del aire en el proyecto minero Inmaculada 4 – Ciemsa”, cuyo propósito es la determinación de las características y un diseño de la circulación de aire fresco. Los resultados indican que en las labores se han analizados que existe sustancias como el monóxido de carbono cuyo valor es de 145 ppm sobrepasando el límite permitido, así mismo el caudal que satisface es de 570,00 m³/min con una presión de ventilación de 584,18 m³/min. Concluyendo los

requerimientos de caudal se han obtenido dos circuitos cuyo valor de presión es de 1 348,44 Pa. Aproximadamente logrando así ventilar todo el largo de la mina.

2.2. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La Unidad Minera Catalina Huanca se localiza al Sur del Perú en el departamento de Ayacucho, en Víctor Fajardo, una de las provincias. Su ubicación geográfica en coordenadas UTM WGS 84 es: N 8' 538,000 y E 616,000; se encuentra en 3,250 msnm en promedio.

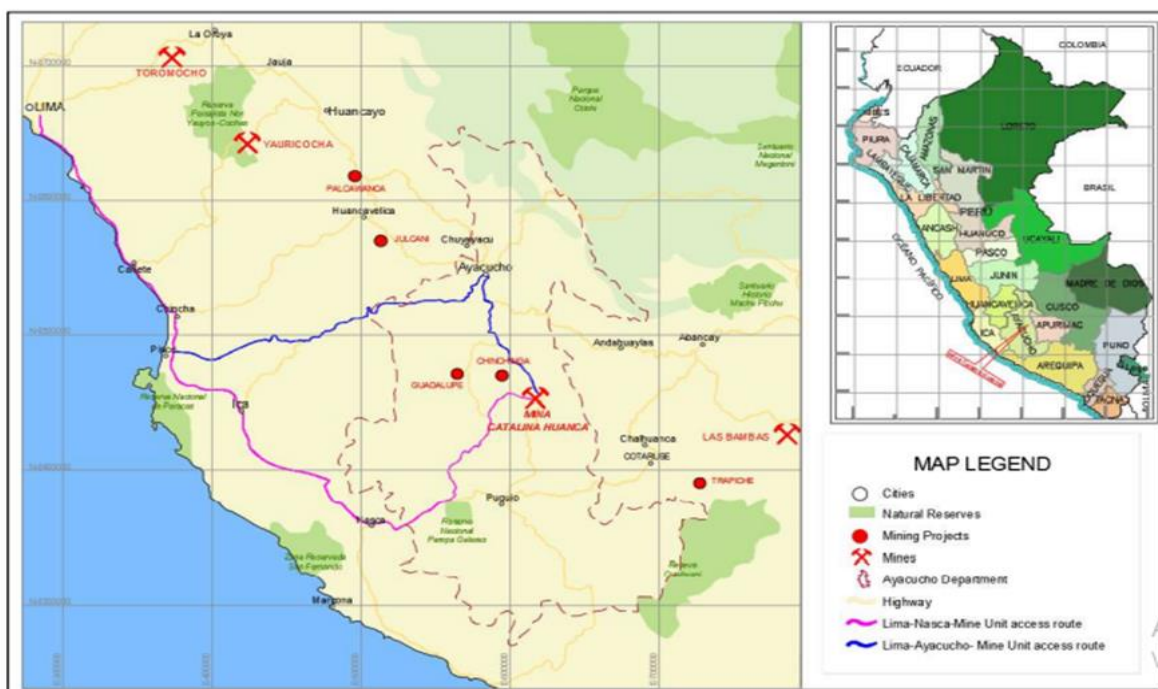


Figura 2.1: Ubicación de mina Catalina Huanca.

Fuente: Plan de minado Catalina Huanca.

Tabla 2.1 Vías de Acceso a la Unidad Catalina Huanca

Lima – Nazca – Pampa Galeras – Mina	715 Km	11 hrs.
Lima – Pisco – Ayacucho – Cangallo – Mina	1022 Km.	14 hrs.

Fuente: Mina Catalina Huanca

2.3. CLIMA Y VEGETACIÓN

El viento en los andes es agreste y frío, con dos temporadas distintas: invierno (diciembre a marzo) con lluvias intensas (hasta 700 mm según los datos registrados), la temperatura durante el día alcanza los 20°C y disminuye hasta los 10°C por la noche; y el verano (abril y noviembre), la temperatura durante el día alcanza los 16°C y disminuye hasta los 0°C por la noche. Del mismo modo, la flora del telediario alto consta de ichu y praderas naturales, mientras que la flora del telediario inferior consta sembríos de maíz, habas, arbustos nativos y cebolla que son para el consumo de la población local.

2.4. FISIOGRAFÍA

La Unidad Minera contempla una topografía accidentada, el relieve se conforma por valles elevados y superficies onduladas, anticlinales y sinclinales; observándose en el puesto del filón pendiente de hasta 60°. En el este se encuentran los ríos Mishka y Sondongo que han erosionado el valle dando la forma de un cañón, cuya altitud de fondo está en torno a los 2 600 m.s.n.m. Y el nivel del remate pasa los 4,200 m.s.n.m, se encuentra surcado por pequeñas quebradas por donde fluyen pequeños riachuelos y otras están secos.

2.5. RECURSOS DE LA ZONA

a. Recursos naturales.

El principal recurso que constituye el depósito mineral la cual su finalidad es la explotación por la empresa.

b. Recurso hídrico.

Este tipo de recurso para la exploración son limitados, y están proporcionados por algunas pequeñas fuentes de agua que se almacenan en pozos ubicados en los niveles superiores de la mina. Para el tratamiento de mineral de agua es proporcionada por un arroyo Mishka que pasa cerca de la localidad de Raccaya.

2.6. GEOLOGÍA**2.6.1. Geología regional**

La secuencia litológica de la región está conformada por rocas de origen sedimentario, cuyo período de sedimentación y formación está localizado desde el Permiano Superior (Paleozoico), rocas del Jurásico y Triásico Inferior del Mesozoicos que está representado por los Grupos Mitu (Ps-m) y Pucará (Tr-Jr) hasta el Cuaternario. Estas unidades de roca son formadas por una franja en la dirección NO-SE. En el lugar se observan empinadas laderas y valles andinos los cuales poseen ríos en la cuenca del río Cangallo-Pampa, un afluente del río Apurímac. Las unidades litológicas importantes que se desarrollaron en el área de estudio.

Por último, se observa afloramientos de facies de granito (PS-q/gr) al Este de la zona del emplazamiento minero y en la zona del mismo emplazamiento se encuentran rocas intrusivas que son de tipo diorítico, la Diorita Ccasccabamba (Nm-ca/di).

2.6.2. Geología local

Por descripciones geológicas, el yacimiento minero de Catalina Huanca se encuentra emplazado en las siguientes rocas huésped:

- Grupo Yura: Pertenece al Jurásico Medio a Superior, en las zonas más altas se evidencia una secuencia de calizas fosilíferas intercaladas con delgadas capas de lutitas y hacia el tope se pueden observar estratos de arenisca. El grupo Yura sobreyace e discordancia angular al Grupo Pucará.
- Grupo Pucará: Pertenece al Triásico Superior – Jurásico Inferior, el cual sobreyace en discordancia angular al Grupo Mitu. El grupo Pucará se encuentra conformado por calizas de color gris oscuro en gruesos bancos intercalados con algunas capas de areniscas y lutitas oscuras en capas delgadas, las cuales fueron falladas y plegadas producto de las actividades tectónicas correspondiente a la Orogenia Andina con estructuras que se orientan en forma regional de NE-SW.
- Grupo Mitu: Constituido por conglomerados polimícticas con presencia de clastos de areniscas, cuarcitas y calizas los cuales se encuentran incluidos en una matriz arcillosa a areniscosa ferruginosa y calcárea de color gris rojizo del Pérmico Superior.
- Complejo Querobamba: Pertenece al Granito Paleozoico y conformado por filitas, mica esquistos y gneis precambriano y se sitúa gneisificado y cubierto en discordancia por el Grupo Mitu, de igual forma el volcánico barroso sobre yace a este complejo.

2.6.3. Geología Estructural

El rasgo estructural más importantes que se observa en el área del proyecto, está representado por una estructura anticlinal de 12 orientación general NO-SE, afectando principalmente rocas de la Formación Chunumayo (Jm – ch). El eje del anticlinal se desarrolla a lo largo del flanco izquierdo de la quebrada Rajaure prolongándose hacia el NO y SE

2.6.4. Geología Económica

La evidencia de la “Falla Principal” y hacia el suroeste la “Falla Chumbilla” controla la mineralización en vetas y mantos respectivamente en toda el área de la Mina. A continuación se describen estas estructuras mineralizadas brevemente. Entre las estructuras mineralizadas reconocidas a la fecha destacan las siguientes:

A. Veta Principal. Es la mayor de las estructuras vetiformes, geométricamente es una estructura tabular, uniforme en una longitud de 600 metros, con potencias que varían desde los 0.40 metros hasta los 4.50 metros. Estructuralmente presenta un rumbo y buzamiento promedio de “N55°E - 83°SE” y está controlada por la “Falla Principal”. Mineralógicamente presenta Esfalerita, Galena, Fluorita y Cuarzo.

B. Veta Dalina. Es un ramal de la veta Principal, reconocida en una longitud de 350 metros. Estructuralmente presenta un rumbo y buzamiento promedio de “N45°E - 75°SE”, con potencias mineralizadas que van desde los 0.40 metros hasta los 3.50 metros. Mineralógicamente presenta Esfalerita, Galena, Fluorita, Pirita y Cuarzo.

C. Veta Rocio. Esta veta es un ramal que se desprende de la veta Dalina y está emplazada íntegramente en el Conglomerado del Grupo Mitu. Estructuralmente presenta un rumbo y buzamiento promedio de “N77°E - 85°NW”, tiene potencias que van desde los 0.30 metros hasta los 1.10 metros. Mineralógicamente presenta Esfalerita, Galena, Fluorita, Pirita y Cuarzo.

D. Veta Vilma. Esta veta se emplaza al “NW” del yacimiento íntegramente en el Conglomerado del Grupo Mitu; es una veta que no aflora en superficie. Estructuralmente tiene un rumbo y

buzamiento promedio de “N75°W - 72°NW”. Ha sido reconocida en una longitud de 400 metros, hacia el “SW” la veta intersecta con las Calizas Pucara. Las potencias mineralizadas forman desde los 0.40 metros hasta los 2.50 metros. Mineralógicamente presenta Galena, Esfalerita, Fluorita, Pirita, Hematita y Cuarzo, esta veta se identifican la presencia de mayores contenidos de Galena sobre la Esfalerita, además de Fluorita, Calcopirita y Hematita en la Mina, longitudinalmente presenta un fuerte ramaleo del tipo cimoide, de gran importancia económica.

E. Veta Lucero. Esta veta es un ramal importante de la veta Principal, su mejor exposición geoeconómica se evidencia en el nivel 3190, con más de 200 metros de longitud. Estructuralmente tiene un rumbo y buzamiento promedio de “N88°E/89°SE”, se identifican potencias mineralizadas que varían desde los 0.40 metros hasta los 1.60 metros Mineralógicamente consiste en mayores concentraciones de Esfalerita, Galena, Calcopirita, Fluorita, Pirita, Hematita, Cuarzo. Longitudinalmente presenta ramales de tipo cimoide los cuales forman cuerpos de hasta 5 metros de potencia. Litológicamente se emplaza íntegramente en el Conglomerado del Grupo Mitu. Se evidencia que Lucero mineraliza mucho más intensamente hacia el “SW” del yacimiento con respecto a las otras vetas.

F. Manto Amanda. Es una estructura importante por el potencial geológico que presenta, se emplaza en el contacto entre la Caliza del Grupo Pucara y el conglomerado del Grupo Mitu, atraviesa toda el área de la mina en una extensión aproximada de 1000 metros, espacialmente se sitúa entre 50 a 70 metros encima del plano de la “Falla Chumbilla”. Se trata de mantos con una potencia mineralizada que varía desde los 4.0 hasta los 6.0 metros, constituido por Calizas brechosas y Horizontes de Calizas Tufáceas Mineralizadas. Estructuralmente los mantos

presentan un rumbo y buzamiento promedio de “N25°E - 25°NW”. Mineralógicamente se los mantos se constituyen de Esfalerita, Galena, Calcopirita, Pirita, Rodocrosita y Cuarzo.

2.7. DISEÑO DE MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN

2.7.1. Método minado Melissa taladros largos en cuerpos

Cuerpo Melissa. Estructura mineralizada ubicada entre las cotas 2,700 – 2,800 m.s.n.m. con mineralización principalmente de Zn, se encuentra emplazada en arenisca cerca al contacto con Conglomerado, fuertemente argilizada y con potencias que van desde los 3 metros hasta los 40 metros.

El tajo es desarrollado en una longitud de hasta 300 m con dirección a la caja techo o a la caja piso, posteriormente se da apertura al arranque del mineral generando chimeneas cara libre VCR, dichas chimeneas con longitudes igual a la longitud que tenga el banco, formando cámaras distribuidas de forma paralelas una de la otra a una distancia de eje de entre 10 a 20 m. Posteriormente se define el sistema de ventilación de la labor, el mismo que se integra a un circuito de desfogue ya establecido, que se va complementando con chimeneas conforme vaya ascendiendo el tajo, diseño de las cámaras según el dimensionamiento de Geomecánica. El ciclo de operaciones unitarias está desarrollado por los siguientes trabajos: Perforación La perforación se inicia en un extremo de las cámaras, caja piso, donde estará ubicada la Chimenea Cara Libre VCR para culminar con la perforación en el ingreso de la cámara, caja techo; Se perfora en forma mecanizada con un equipo simba electrohidráulico con una longitud que va desde los 10.00 m hasta los 15.00 y broca de 51 mm, con un área promedio de 20.0 x 20.0 m, con un espaciamiento de 1.2 m y burden de 1.1 m, manteniendo una inclinación según diseño. El rendimiento obtenido indica que para 3,000 tn rotas se tiene que perforar 750 m” con un

promedio de taladros de 50, el mismo que es realizado en 15 días. Voladura Para el carguío de taladros, se emplea Emulsión y ANFO, los accesorios utilizados son detonador no eléctrico, cordón detonador no electrico, carmex y mecha rápida, variando del tipo de terreno y la malla de perforación, los porcentajes y tipos de explosivo a utilizar varían en porcentaje, la voladura se realizara en retirada iniciando desde la chimenea cara libre VCR y en forma progresiva hacia el ingreso del tajo, el carguío se realizara en forma mecánica con equipos adecuados para la operación. Limpieza, Acarreo y Transporte Para la limpieza de mineral se emplea un scoop de 6.0 y/o 9.0 yd³ con telemando, transportando el mineral a las cámaras de carguío, empleando un tiempo de 1 días por secciones disparadas. El relleno del tajo es de forma mecánica, para el relleno se utiliza desmonte, relave y Relave cementado, se utiliza combinando estos tres elementos o en forma separada según la disponibilidad de cada uno, empleando un scoops de 6.0 yd³.

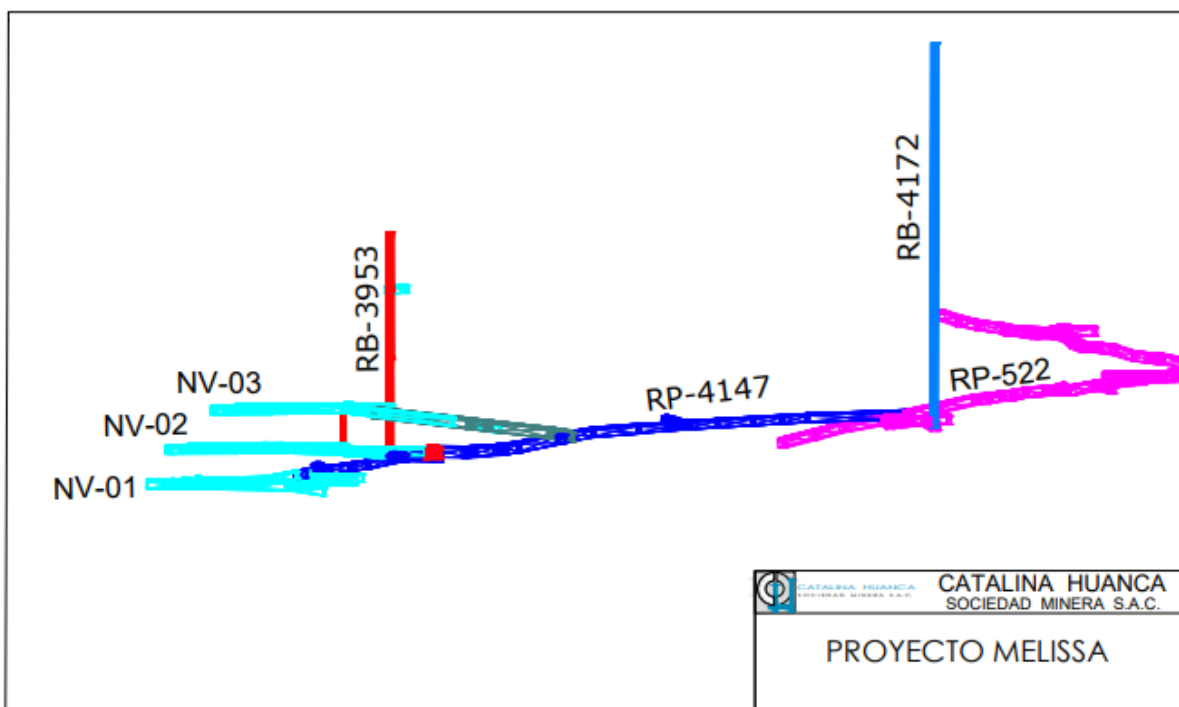


Figura 2.2: Vista de sección del proyecto melissa.

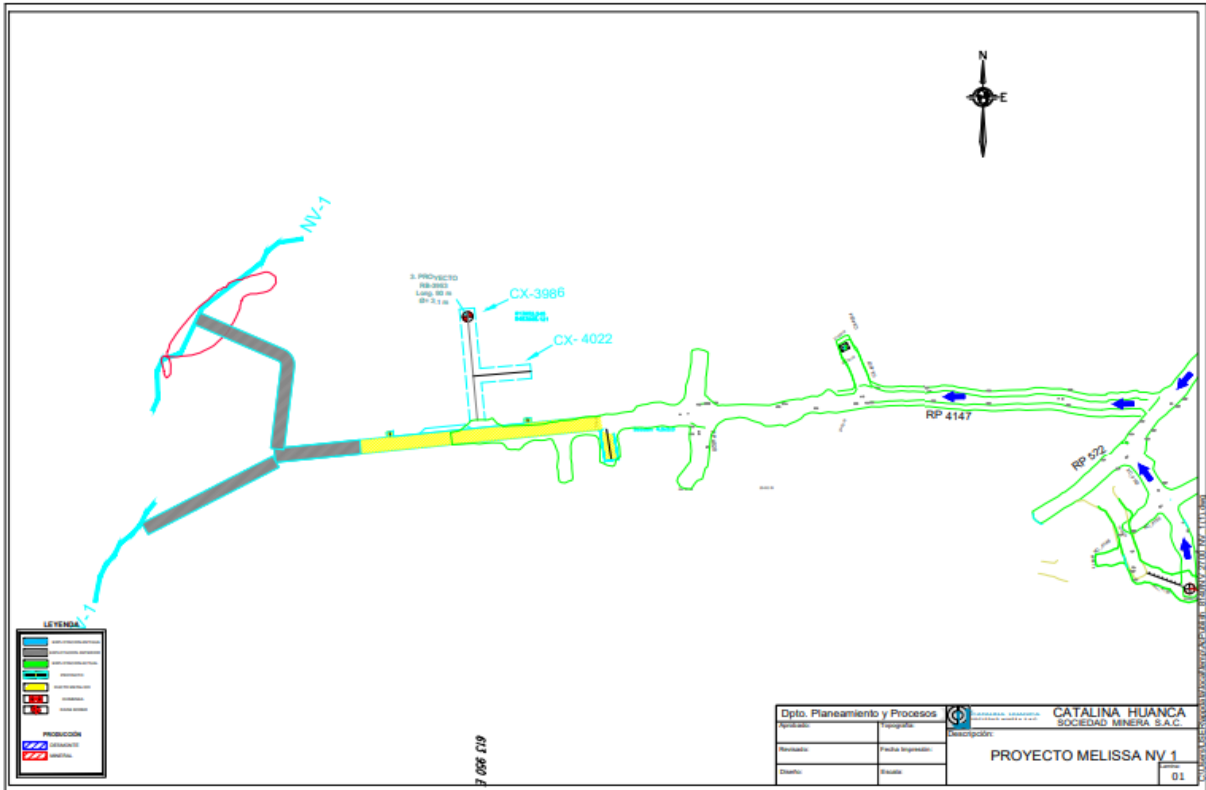


Figura 2.3: Plano del NV-01 del proyecto melisa.

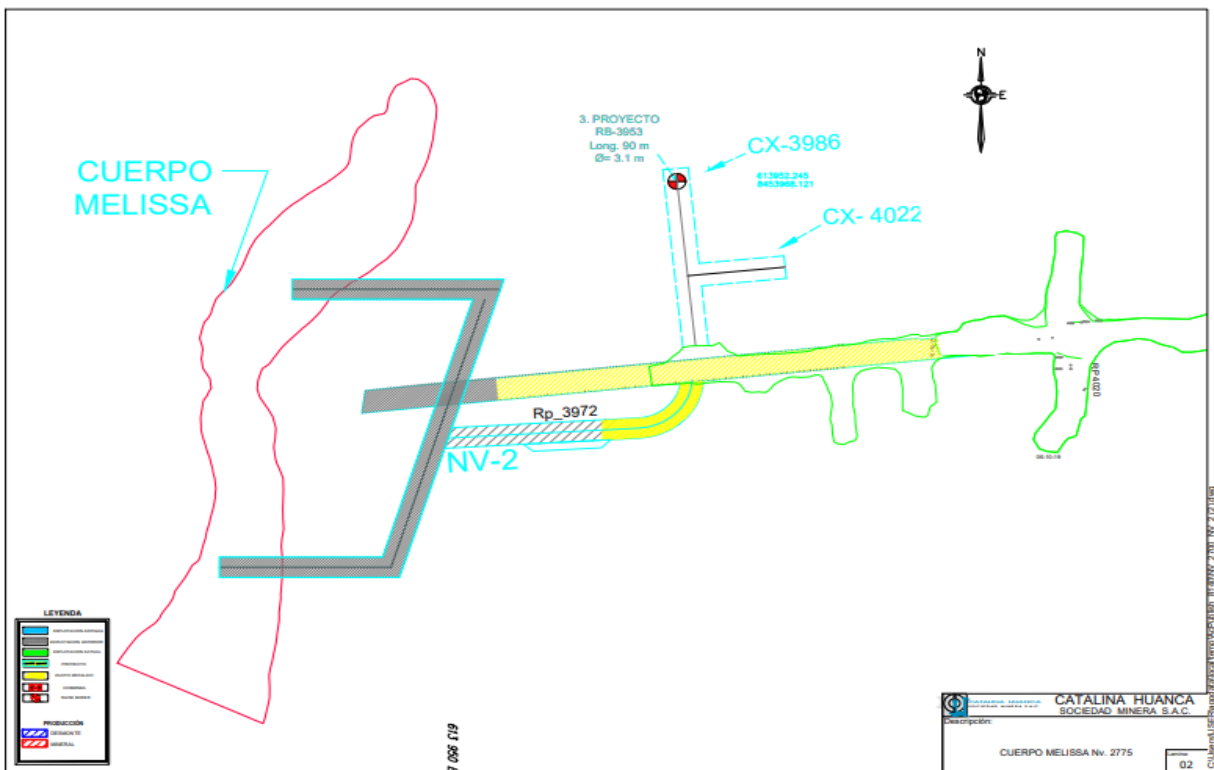


Figura 2.4: Plano NV-02 del proyecto melisa.

2.7.2. Labores de exploración

Se llevarán a cabo operaciones horizontales y verticales durante esta fase con el objetivo de lograr una proyección de la veta para su posterior progreso, así como crear cavidades diamantadas a partir de las cuales se harán taladros diamantinos. Esto corroborará o negará la presencia de vetas en las proyecciones resultantes del trabajo exploratorio. Contiene todo el trabajo de desarrollo, regularmente horizontal, ubicado en el interior en el fondo del cuerpo mineral y cuyo objetivo es incrementar el conocimiento de este cuerpo veta (Zenteno, 2017).

2.7.3. Labores de preparación y desarrollo

Una vez que los tramos han llegado a la meta, se realizan actividades horizontales o verticales persiguiendo la distribución de la veta y permitiendo su reconocimiento y validación de leyes y derechos limitados en su recorrido, estas misiones consienten la cubicación de reservas minerales. Durante esta fase, realizada posterior o paralela al desarrollo de, se ejecutan estructuras horizontales o verticales (chimeneas, subniveles) que admiten la preparación de bloques mineros que formarán zonas mineras de explotación (Zenteno, 2017). Contiene todo el trabajo avanzado específicamente para preparar un pozo minero. Puede ser en forma de mineral o efectivo y se presupuesta como un costo operativo (Bautista, 2017).

2.7.4. Labores de explotación

Según Zenteno (2017), esta es la etapa final en la que se extraen sistemáticamente los recursos minerales preparados y formados en los "Tajos". Luego de determinar el método de operación, se procede a la determinación de cómo realizar las operaciones para el uso eficiente y continuo de los recursos.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL MINADO DEL CUERPO MINERALIZADO MELISSA

3.1. MARCO LEGAL

El marco legal bajo el cual se realiza el presente estudio y las normas vigentes son:

- 1.- **Ley 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.** Señala en los principios de prevención y de protección, que tanto el Estado y los empleadores aseguren condiciones de trabajo dignos que les protejan su vida, la salud y el bienestar de los trabajadores; el sistema de ventilación de una mina coadyuva a este objetivo.
- 2.- **Reglamento D.S. 005-2012-TR de la Ley 29783.** Igualmente señala, promover una cultura de prevención de riesgos laborales. El sistema de ventilación es un servicio auxiliar que contribuye reducir los riesgos relacionado a la contaminación ambiental en el trabajo cotidiano de la mina.
- 3.- **Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, D.S. N.º 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N.º 023-2017-EM.** En su Art. 246 exige que todo titular minero debe velar por el suministro de aire fresco a las labores de trabajo en cantidad y calidad necesarias para la operación segura de toda la mina. Como consecuencia para el minado del cuerpo Melissa la

empresa Minera Catalina Huanca tiene que cumplir en toda su amplitud las exigencias de esta norma.

3.2. PRINCIPIOS DE VENTILACIÓN

Los principios que rigen el flujo de aire en las minas son:

- 1.- El movimiento del aire en la mina, son causados por la diferencia de peso específico del aire entrante y saliente. Esta diferencia de peso específico proviene principalmente de la diferencia de temperatura del aire atmosférico y el aire de la mina (gradiente geotérmico), en menor grado por la diferencia de presión. Por esta razón el aire fluye de la zona de menor temperatura a la zona de mayor temperatura.
- 2.- La presión generada (energía) en la corriente de aire debe ser lo suficiente para vencer la resistencia friccional y las pérdidas por choque, que se presentan en el conjunto de labores que constituyen los circuitos de ventilación, dicha presión se genera mediante el empleo de los ventiladores.
- 3.- El flujo de aire sigue la relación de la ley cuadrática entre volúmenes y presiones; que significa, que para el doble de volúmenes requeridos se necesitan 4 veces más de presión.

3.3. PARÁMETROS DE VENTILACIÓN

Los parámetros a considerar en el sistema de ventilación minera son:

La cantidad de aire requerido para el minado del cuerpo Melissa, como son las labores de trabajo de explotación, preparación y desarrollo y otras áreas donde trabaja el personal; tales parámetros a considerar son:

Área de la sección transversal del conducto de ventilación.

Perímetro de la sección transversal del conducto.

Longitud del conducto

Coefficiente de fricción

Con estos parámetros se determina la cantidad, el tamaño, la capacidad y la potencia de los ventiladores para poner en circulación el aire fresco requerido para el proyecto de explotación del cuerpo Melissa.

Para determinar la potencia de los ventiladores se empleará las siguientes expresiones:

$$H = \frac{K P L Q^2}{5.2 A^3} \quad \text{Eq. 1}$$

Donde:

H: Pérdida de presión, en pulg de H₂O

K: Coeficiente de fricción del conducto, lb.min²/ft⁴.

P: Perímetro de la sección transversal del conducto, en ft.

L: Longitud del ducto, en ft.

Q: Caudal de aire en el conducto, en ft³/min.

A: Área de la sección transversal del conducto de ventilación, en ft².

$$HP = \frac{H Q}{6346 n} \quad \text{Eq. 2}$$

Donde:

HP: Potencia del motor del ventilador, en HP.

H: Pérdida de presión, en pulg de H₂O

Q: Caudal de aire, en ft³/min.

n: Eficiencia del motor del ventilador, normalmente encima de 75%.

Para determinar los parámetros de ventilación en el proyecto de explotación del Cuerpo Melissa, se utilizó los parámetros determinados en el sistema de ventilación de las zonas de explotación actual de la mina Catalina Huanca, los cuales se describe en los siguientes párrafos.


3.3.1. Equipos utilizados para la medición de ventilación

En la mina Catalina Huanca para la medición de ventilación como son la velocidad del aire, el caudal, la humedad relativa, entre otros, se utiliza un equipo integrado TESTO 480 que mide todos esos datos; asimismo, estos equipos tienen que estar calibrados, ver la siguiente información correspondiente:



Figura 3.1: Testo 480-Equipo multifunción para medición de ventilación

Certificado de Calibración Equipo Testo 480

<p>Kalibrier-Protokoll <small>Certificate of conformity • Protocole d'étalonnage Certificato di taratura • Informe de calibración</small></p>	<p>Be sure. </p>	
<p>Gerät / Module type / Modèle / Modelo:</p>	<p>0635 1543</p>	
<p>Serien-Nr. / Serial no. / No. de série / Número de serie:</p>	<p>61197524</p>	
<p>Tastaturtest / Keyboard test / Testes de clavier / Test del teclado:</p>	<p>ok</p>	
<p>Messwerte / Measured values / Valeurs mesurées / Valores medidos:</p>		
<p>Sollwert / Reference / Référéncia: Referencia:</p>	<p>Toleranz / Tolerance / Tolérance / Tolerancia:</p>	<p>Istwert / Actual Value / Valeur réelle / Valor medido:</p>
<p>Strömung / Velocity / Vitesse d'air / Velocidad</p>		
0.80 m/s	± 0.06 m/s	0.79 m/s
20.00 m/s	± 0.83 m/s	20.04 m/s
<p>Temperatur / Temperature / Température / Temperatura (NTC)</p>		
25.0 °C	± 0.5 °C	25.0 °C
<p>Relative Luftfeuchte / Relative humidity / Humidité relative / Humedad relativa</p>		
11.3 % rF	± 1.9 % rF	11.2 % rF
75.2 % rF	± 2.3 % rF	75.3 % rF
<p>Absolutdruck / Absolute pressure / Pression absolue / Presión absoluta</p>		
922.3 hPa	± 3.0 hPa	922.3 hPa
<p>Datum / Date / Date / Fecha:</p>	<p>Prüfer / Inspector / Vérificateur / Verificador:</p>	



Kalibrier-Zertifikat Calibration certificate

MUSTER

Gegenstand Object	Volumenstrom Messhaube
Hersteller Manufacturer	TSI GmbH
Typ Type description	8375
Serien Nr. Serial no.	12345678
Inventar Nr. Inventory no.	12345678
Prüfmittel Nr. Test equipment no.	12345678
Equipment Nr. Equipment no.	12345678
Standort Location	---
Auftraggeber Customer	Max Mustermann GmbH
Kunden Nr. Customer ID no.	DE-12345 Musterstadt
Auftrags Nr. Order no.	1234567 / 0520 0164
Datum der Kalibrierung Date of calibration	14.03.2016
Datum der empfohlenen Rekalibrierung Date of the recommended re-calibration	14.03.2017

Hiermit bestätigen wir, dass das durchführende Kalibrierlabor ein Managementsystem nach **ISO 9001:2008**, sowie **ISO/IEC 17025:2005** eingeführt hat. Die Urkunden finden Sie auf www.testo.de. Die für die Kalibrierung verwendeten Messrichtungen werden regelmäßig kalibriert und sind rückführbar auf die nationalen Normale der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) Deutschlands oder auf andere nationale Normale. Wo keine nationalen Normale existieren, entspricht das Messverfahren den derzeit gültigen technischen Regeln und Normen. Die für diesen Vorgang angefertigte Dokumentation kann eingesehen werden. Alle erforderlichen Messdaten sind in diesem Kalibrier-Zertifikat aufgeführt.

Hereby we confirm that the performing calibration laboratory is working with a management system according to **ISO 9001:2008** and **ISO/IEC 17025:2005**. Accreditation certificates can be found under www.testo.de. The measuring installations used for calibration are regularly calibrated and traceable to the national standards of the German Federal Physical Technical Institute (PTB) or other national standards. Should no national standards exist, the measuring procedure corresponds with the technical regulations and norms valid at the time of the measurement. The documents established for this procedure are available for viewing. All the necessary measured data can be found on this calibration certificate.

Konformitätsaussage Conformity

- Messwert(e) innerhalb der zulässigen Abweichung¹. Measured value(s) within the allowable deviation¹.
 Messwert(e) außerhalb der zulässigen Abweichung¹. Measured value(s) outside of the allowable deviation¹.

--- ---
 --- ---

¹ Die Messunsicherheit wurde nach GUM mit dem Erweiterungsfaktor $k=2$ berechnet und enthält die Unsicherheit des Verfahrens sowie die Unsicherheit des Prüfings. Die Konformitätsaussage erfolgte nach DIN EN ISO 14253-1 gemäß der Kalibrieranweisung QSA-TIS 7.5-02.

¹ The measurement uncertainty was calculated according to the regulations of GUM with the coverage factor $k=2$ and contains the uncertainty of the measuring procedure and the uncertainty of the measuring system. The statement of conformity was made according to DIN EN ISO 14253-1 according to calibration instruction QSA-TIS 7.5-02.

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Stempel Seal



Fachverantwortlicher Supervisor

Max Mustermann
Max Mustermann

Bearbeiter Technician

Max Mustermann
Max Mustermann

Testo Industrial Services GmbH

Gewerbestraße 3
75199 Kirchzarten

Tel +49 7661 90901-8000
Fax +49 7661 90901-8010

www.testo.de
info@testo.de

Seite 1/2
Page

3.3.2. Determinación del coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción normalmente se determina mediante tablas según el tipo de roca y características geométricas longitudinales del conducto o labores mineras. Actualmente se determina mediante una relación matemática que se adecua mejor para determinar este parámetro:

$$K = \frac{1.855 \times 10^{-6}}{6.67 \left[1.74 - 2 \log \left(\frac{2e}{Dh} \right) \right]^2} \quad \text{Eq. 3}$$

Donde:

K: Coeficiente de fricción del conducto, lb. min²/ft⁴.

e: Espesor de las irregularidades del conducto, en lb. min²/ft⁴.

Dh: Diámetro hidráulico del conducto, en m.

Esta relación fue deducida por el Ing. Cam Seeber de nacionalidad canadiense, relacionando la ecuación de Atkinson y las fórmulas científicas de Karmen Plandtl y Colebrooke-White de dinámica de fluidos, en el que el parámetro principal es la rugosidad de la sección transversal de los conductos; actualmente esta ecuación sirve para cálculo de ventilación de Minas.

La **medición del espesor (e) de las irregularidades del conducto**, es un parámetro importante para el cálculo de coeficiente de fricción, del cual depende la consistencia de los resultados de diseño del sistema de ventilación.

En la mina Catalina Huanca, se realizó las mediciones del espesor de las irregularidades de los conductos, este mismo valor se ha utilizado para los cálculos y simulación del sistema con el apoyo de Software VentSim obteniéndose resultados consistentes y similares a los circuitos de ventilación real de la mina.

El procedimiento de medición es el siguiente, ver figura 3.1:

- 1.- Establecer tramos de 10 m en una labor horizontal
- 2.- Establecer 8 mediciones: 2 en cada pared lateral, 2 en el techo y 2 en el piso.
- 3.- Para cada medición indicada en el paso 1 y 2, extender un cordel en los 10 m (entre los 2 puntos que definen los 10 m de distancia)
- 4.- Medir la distancia de los espacios entre la pared de la labor y el cordel.
- 5.- Obtener el promedio de los espacios medidos, el cual representa el espesor (e) de las irregularidades del conducto.

Obtener el promedio de los espacios medidos, el cual representa el espesor de las irregularidades del conducto “e”.

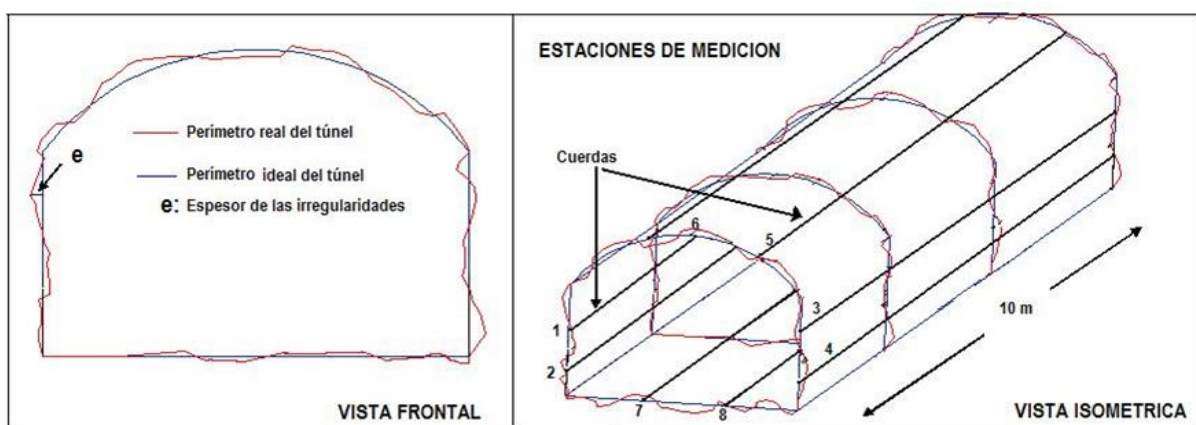


Figura 3.2: Procedimiento de medición de las irregularidades en una labor subterránea horizontal
 Fuente: José A. Rojas Córdova, Tesis: Planeamiento del sistema de ventilación principal de la U.M. el Porvenir de la compañía minera Milpo S.A.

3.3.3. Determinación del área y el perímetro del conducto

El **área de la sección transversal** de las labores mineras con techo en arco, tales como: las galerías, rampas y otras labores horizontales, se calcula con la siguiente expresión:

$$A = \frac{11}{12} \times B \times H \quad \text{Eq. 4}$$

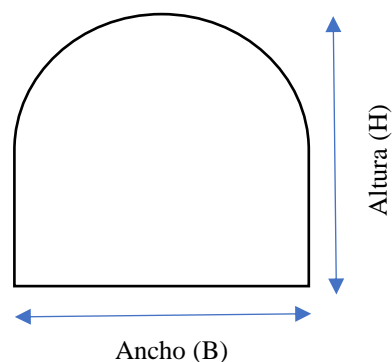
Donde:

A: Área, en m².

B: Ancho, en m.

H: Altura, en m.

El **perímetro de las labores subterráneas (P)** con techo en arco, se determina con la siguiente expresión:



$$P = B + 1.5H + \frac{B}{2} \sqrt{\frac{H^2}{B^2} + 1} + \frac{B^2}{2H} \ln \left[\frac{H}{B} + \sqrt{\frac{H^2}{B^2} + 1} \right] \times \quad \text{Eq. 5}$$

3.3.4. Medición de la velocidad del aire

En la operación actual de la Mina Catalina Huanca, la velocidad del aire se mide haciendo uso de un anemómetro digital y en otros casos con la bombilla y tubos de humo en cada estación de control.

Para el sistema de ventilación del proyecto de explotación del Cuerpo Melissa, se ha tomado la velocidad de 25 m/min que exige el Reglamento de Seguridad Minera para el flujo de aire en las labores mineras, labores de preparación y desarrollos.

3.3.5. Cálculo de la presión barométrica

El aire atmosférico ejerce una presión sobre la superficie de la tierra; esta presión es conocida como la presión atmosférica o presión barométrica que varía con la altitud de la mina; por ejemplo, la presión atmosférica a nivel del mar es mayor que la presión a cualquier altitud de la mina. Estas presiones se miden en pulg de H₂O. A nivel del mar la presión atmosférica es de 29.92 pulg de Hg = 1 atm = 14.6 lb/pulg². = 760 mm Hg.

La presión a cualquier altitud de la mina se determina con la siguiente expresión:

En ausencia del Barómetro se puede determinar indirectamente, con la siguiente ecuación:

$$\log \beta = \log P_1 - \frac{h}{122.4 (^{\circ}F - 460)} \quad \text{Eq. 6}$$

Donde:

β = Presión atmosférica a la altura “h”, en lb/pulg².

P_1 = Presión atmosférica a nivel del mar = 14.7 lb/pulg².

h = Altura sobre el nivel del mar, ft.

°F = temperatura a la elevación “h”

3.3.6. Cálculo de la densidad del aire

Para el cálculo de la densidad del aire se empleará la siguiente ecuación:

$$\omega = \rho_s * e^{\left(\frac{-h}{29.2699 T + 7995.0852}\right)} \quad \text{Eq. 7}$$

Donde:

ω : Densidad de aire a “h” m.s.n.m. en lb/pie³.

ρ_s : Densidad de aire al nivel del mar = 0.075 lb/pie³.

e: Coeficiente = 2.718282

h: Altitud en, m.

T: Temperatura en °C.

3.4. CONDICIONES TERMOAMBIENTALES EN LA EXPLOTACIÓN DE CUERPO MELISSA

a.- Emisión natural del gas de estrato.

En la mina Catalina Huanca en las labores subterráneas que actualmente se extrae el mineral existe una emisión del gas natural de CO₂.

Durante la excavación de los tres niveles en el cuerpo Melissa, se ha encontrado la concentración de este gas superior al límite máximo permisible, ver figura 3.2 y la tabla 3.1.

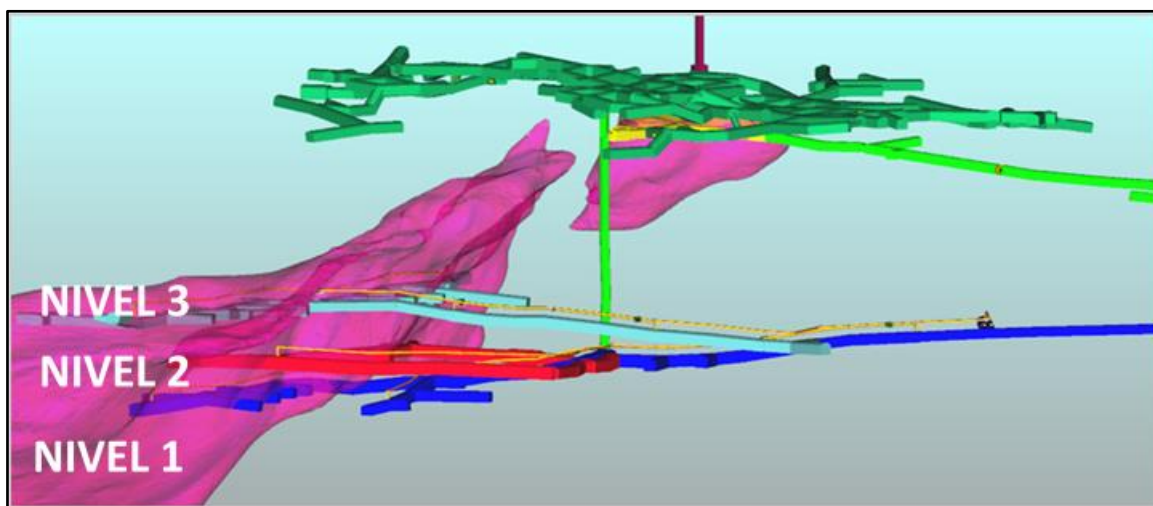


Figura 3.3: Construcción de niveles en cuerpo mineralizado Melissa.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1: Monitoreo del gas natural CO₂, durante la construcción de Niveles en el cuerpo mineralizado Melissa

Niveles principales	Gas CO₂.
Nivel 1	50,000 ppm
Nivel 2	10,000 ppm
Nivel 3	40,000 ppm
Límite máximo permisible de CO ₂ .	5000 ppm

Fuente: Monitoreo del gas en cuerpo Melissa, Mina Catalina Huanca

Desde el punto de vista de sus génesis, este gas natural de CO₂, según las investigaciones su origen está relacionada con las litologías favorables de la formación de los siguientes yacimientos:

- Yacimientos salinos.
- Yacimientos petroleros
- Yacimientos de gas
- Yacimientos de carbón
- También pueden surgir en otras formaciones de basaltos y esquistos ricos en materia orgánica, que durante el proceso de mineralización tienen una influencia directa para la acumulación de este gas, la composición mineralógica y las características texturales de las rocas de la formación de yacimientos metálicos, favorecen la aparición y acumulación del CO₂.

En consecuencia, las condiciones ambientales para la explotación del Cuerpo Melisa van ser similar a los tajeos en explotación de la mina Catalina Huanca y aparecerán mayores concentraciones de CO₂ a medida que profundiza la explotación.

b.- La temperatura

La presencia de calor en las minas subterráneas, es un problema medio ambiental que es necesario medir y controlar como temperatura, realizando la medición correspondiente en las estaciones de control de ventilación y en las labores calurosas y crítica de calor en las labores.

Con fines de ventilación minera, existen cuatro temperaturas que caracterizan a cualquier ambiente subterráneo donde existen mezclas de vapor de agua y el aire; estas temperaturas son:

T_s = Temperatura de bulbo seco

T_r = Temperatura de rocío (punto de rocío)

T_h = Temperatura de bulbo húmedo y

T_e = Temperatura efectiva

La temperatura promedio que se registra en las labores subterráneas de la mina Catalina Huanca sin ventilación mayormente se encuentra encima de 23°C, por lo que, para mantener la temperatura de confort se va considerar en el cálculo de requerimiento de aire una velocidad mínima de 30 m/min (D.S. 024-2016-EM).

Igualmente, la **temperatura efectiva** es la combinación de la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del aire en el lugar de trabajo, mediante los cuales se logran el grado de bienestar de los trabajadores en la mina. Esta temperatura se puede determinar utilizando el nomograma de la figura 3.2. También se puede determinar de manera aproximada mediante la siguiente relación:

$$T_e = 0.3 t_{BS} + 0.7 t_{BH} - V, \text{ o} \quad \text{Eq. 8}$$

$$T_e = 0.9 t_{BH} + 0.1 t_{BS}$$

Según la experiencia en el campo laboral, podemos señalar que la temperatura medida con bulbo húmedo es un indicador aproximado de la temperatura efectiva, cuando la depresión de bulbo húmedo se encuentre en este rango ($t_{BS} - t_{BH} \geq 2^{\circ}\text{C}$).

c.- Humedad relativa.

La humedad relativa del aire es la relación que existe entre la presión de vapor de agua en una mezcla dada y la presión de vapor de agua para esa misma mezcla a la misma temperatura, en condiciones de saturación.

$$HR = \frac{P_v}{P_s} * 100 \quad \text{Eq. 9}$$

Para determinar la humedad relativa (HR) del aire atmosférico en la mina, se requiere medir dos temperaturas: temperatura de bulbo seco (TBS) y la temperatura de bulbo húmedo (TBH) del aire, los cuales se determina con el psicrómetro como de la figura 3.3 y luego utilizando la tabla 3.2 se determina la humedad relativa (HR).

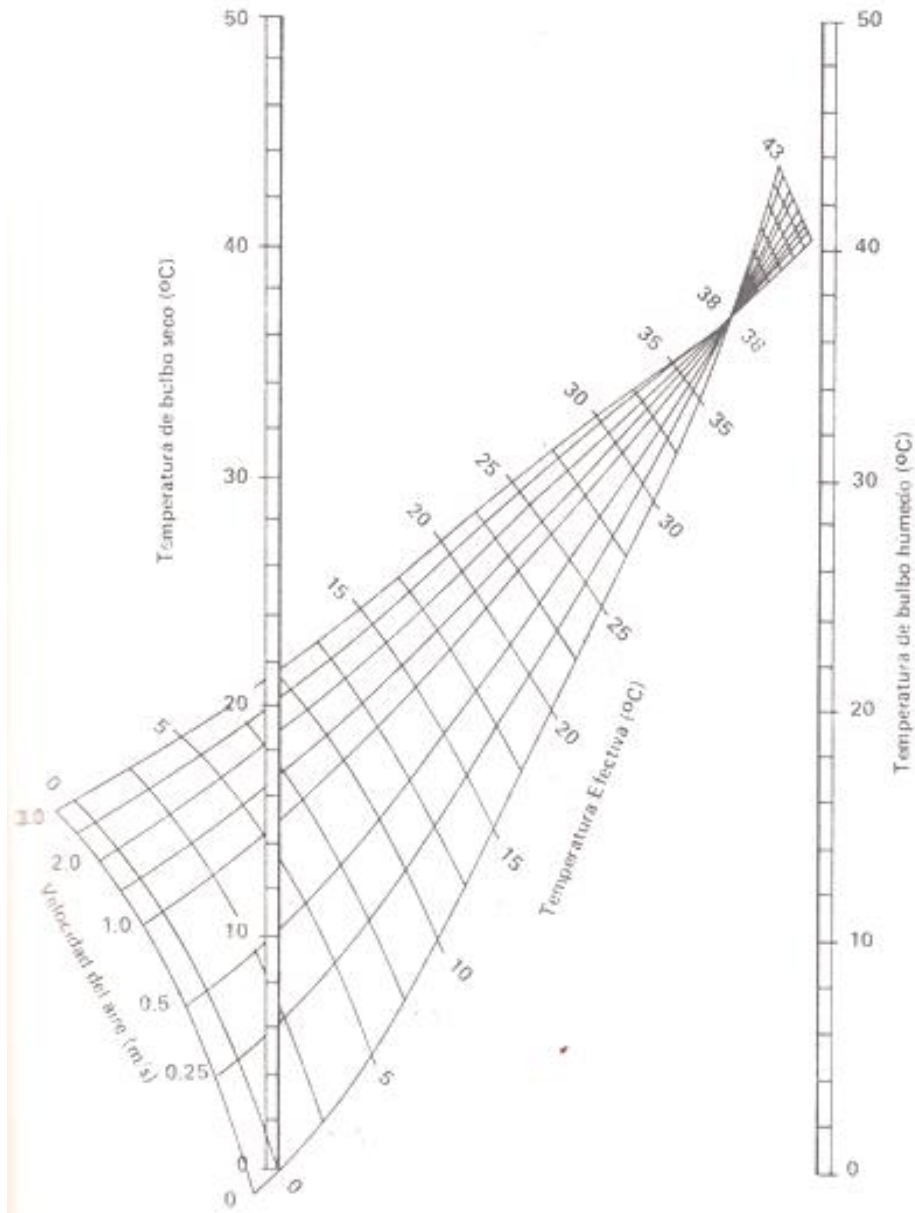


Figura 3.4: Nomograma para determinar la temperatura efectiva del aire.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2: Psicométrica para el cálculo de la humedad relativa en %

TEMPERATURA SECA EN °C	DIFERENCIA DE TEMPERATURAS SECA Y HUMEDA EN °C							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	100	81	63	46	20	12		
5	100	86	71	58	43	31	17	4
6	100	86	72	59	46	33	21	8
7	100	87	74	60	38	36	24	14
8	100	87	74	62	50	39	27	16
9	100	88	75	63	52	41	30	19
10	100	88	77	64	53	43	32	22
11	100	88	79	65	55	45	35	25
12	100	89	79	66	57	47	37	27
13	100	89	79	67	58	49	39	30
14	100	89	79	68	59	50	41	32
15	100	90	80	70	61	51	43	34
16	100	90	80	70	61	53	45	37
17	100	90	80	71	62	55	47	40
18	100	90	80	72	63	55	48	41
19	100	91	81	72	64	57	50	41
20	100	91	81	73	65	58	50	42
21	100	91	82	74	66	58	50	44
22	100	91	82	74	66	58	51	45
23	100	91	83	75	67	59	52	46
24	100	91	83	75	67	59	53	47
25	100	92	84	76	68	60	54	48
26	100	92	84	76	69	62	55	50
27	100	92	84	77	69	62	56	51
28	100	92	84	77	70	64	57	52
29	100	92	85	78	71	65	58	53
30	100	92	85	79	72	66	59	53

Fuente: Alejandro Novitzky. Ventilación de Minas



Figura 3.5: (a) psicrómetro con bulbo seco y bulbo húmedo, (b) psicrómetro digital

Fuente: Educalingo

Actualmente en todas las minas son de uso común los psicrómetros digitales, que dan lectura de las temperaturas de bulbo seco y de bulbo húmedo, y mayormente reportan la humedad relativa directamente.

3.5. PLANEAMIENTO DE VENTILACIÓN PARA LA EXPLOTACIÓN DE CUERPO MELISSA

Para la extracción del mineral del cuerpo Melissa, es necesario previamente la elaboración de un Plan de Minado que gobierne y sirva de directriz a las acciones a desarrollar, sobre todo los servicios del sistema de ventilación, que está ligado al sistema de la explotación; lo cual nos permite definir todos los circuitos de ventilación que garantice la continuidad operativa del cuerpo Melissa. Para diseñar el sistema de ventilación de un yacimiento de mineral, se realiza el estudio correspondiente y establecer el circuito de ventilación de acuerdo al diseño de la mina que ha sido discutido de manera interdisciplinaria con la participación de ingenieros de minas, geólogos e ingenieros de ventilación.

Como se ha mencionado el yacimiento de la Mina Catalina Huanca son varios cuerpos mineralizados que se encuentra en el contacto Caliza-Conglomerados, ver figura 3.5 y uno de esos, es el cuerpo **mineralizado Melissa**, cuya explotación se planificó por método de Taladros Largos, que se explotará con tres niveles de manera secuencial iniciando del Nivel 1.

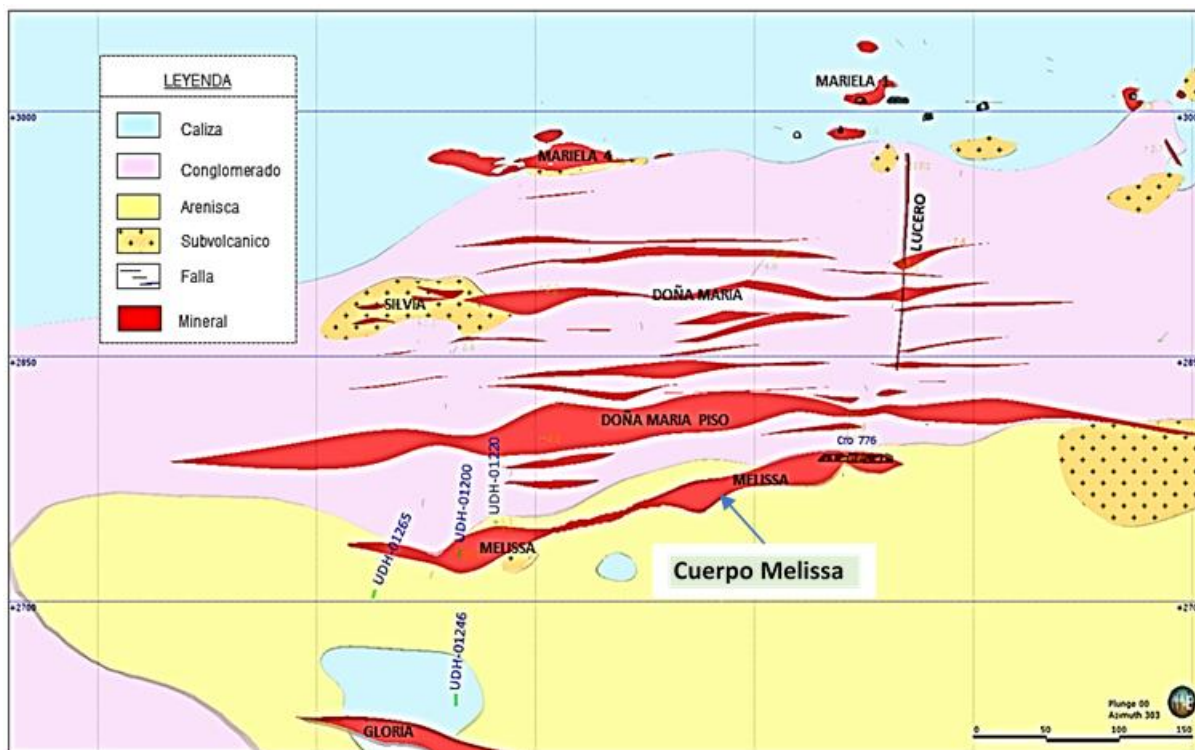


Figura 3.6: Cuerpos mineralizados en profundidad de la mina Catalina Huanca: Doña María Piso, Melissa y Gloria.

Fuente: Elaboración propia

El proyecto y construcción de los niveles se muestra en los siguientes planos del Nivel 1 y el Nivel 2.

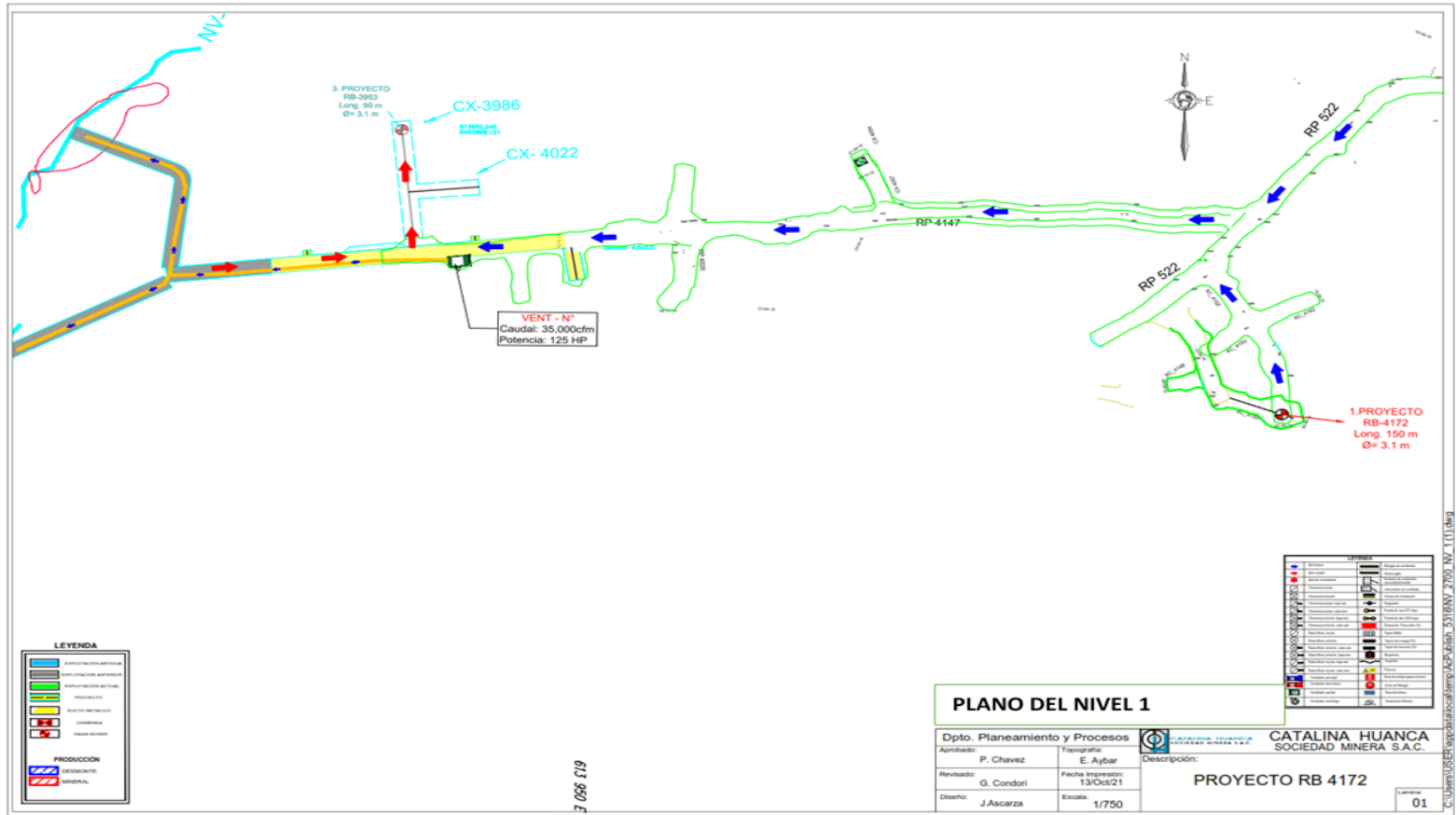
3.6. DISEÑO DE CIRCUITOS DE VENTILACIÓN

El diseño de circuitos de ventilación de una mina subterránea nueva consiste en la planificación cuantificada de la distribución de caudal de aire, la ubicación y función de los ventiladores, y los controles de ventilación necesarios para lograr las condiciones ambientales aceptables en todo el sistema de minado y para la vida prevista de explotación subterránea.

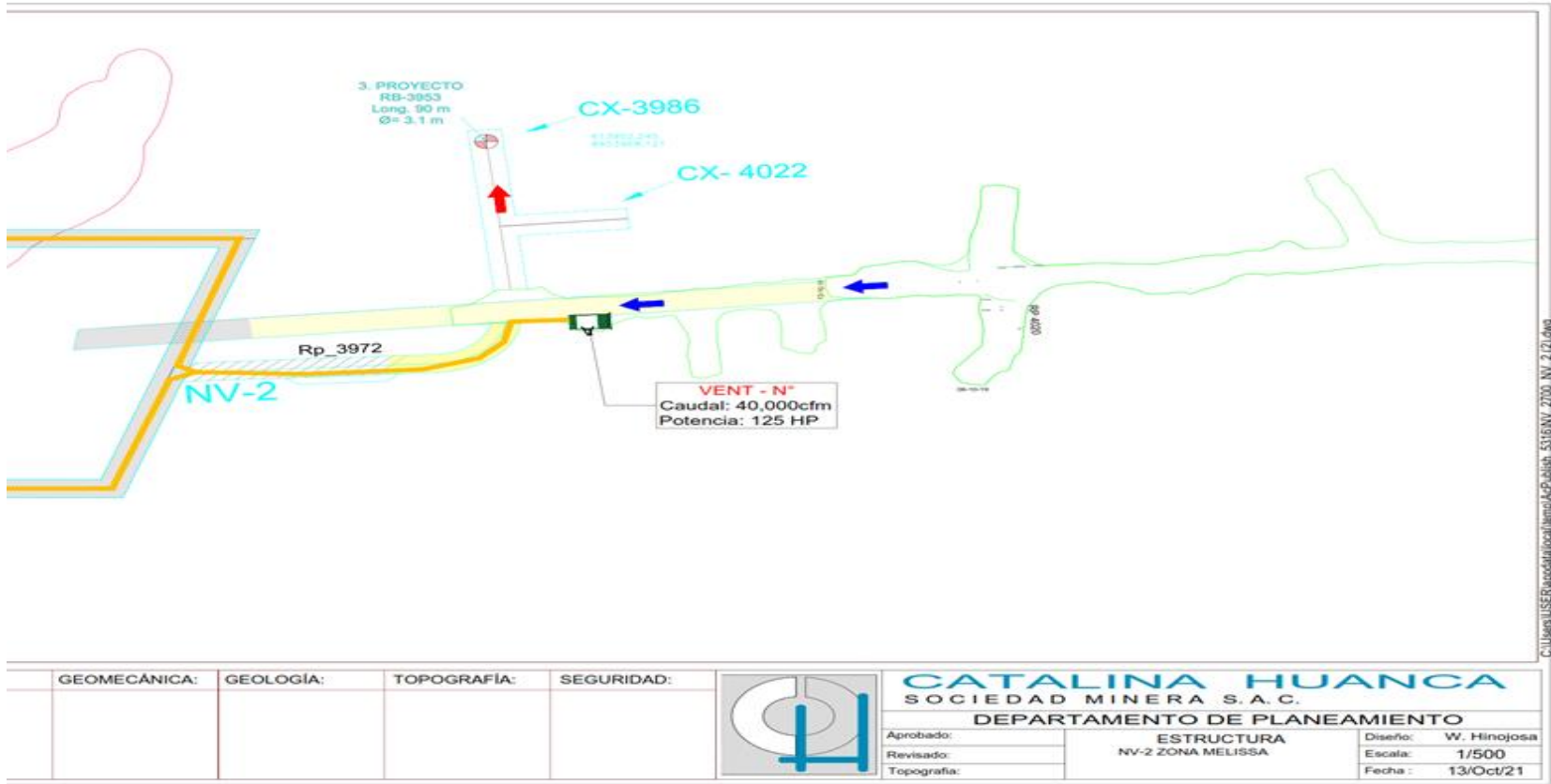
Es necesario planificar con antelación para que los nuevos ventiladores y conductos de aire estén disponibles en el momento oportuno para la ventilación eficaz cuando ocurre ampliación de las nuevas labores, porque el minado subterráneo es un sistema dinámico; lo cual exige que la planificación de la ventilación también debe ser un proceso continuo y rutinario.

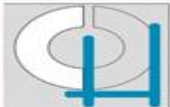
Para la explotación del cuerpo Melissa los circuitos de ventilación se ha diseñado conforme se muestra en la figura 3.6; donde el aire fresco ingresa por Raise Borer (RB) RB-4172 hasta la rampa (RP) RP-4147 y de ésta es conducido a la zona de operación del Nivel 1; mientras el aire viciado retorna por RB-3953, RB-776 que es aspirado por un ventilador de 200 kcfm que se encuentra instalado en el crucero 2870. Terminada la explotación del Nivel 1 se explotarán de manera secuencial el Nivel 2 y el Nivel 3, mientras el diseño del circuito de ventilación va ser la misma ruta, conduciendo el aire fresco en el momento oportuno para la explotación de los niveles mencionados. Igualmente, en este proceso los circuitos en serie y en paralelo se transforman en una resistencia equivalente de la mina con lo que se determina los ventiladores.

La aplicación del software VentSim en una red de ventilación, exige la definición de circuitos y el suministro de parámetros de ventilación como: los ingresos y salidas de aire de la mina, los frentes ciegos; creación de capas; definir las etapas de ventilación; forma y dimensión de la sección de los conductos de ventilación; factor de fricción y factor de choque; resistencias; reguladores y ventiladores. Para este diseño se emplea la herramienta de opción “Edit” previa selección del conducto con la herramienta “Select Airways”. Mediante este software se ha simulado los flujos de aire en planta y perfil para la explotación del cuerpo mineralizado del Cuerpo Melissa; ver los planos 1 y 2 en sección en planta y la figura 3.6 en perfil.



Plano 1: Plano de nivel 1 Mina Catalina Huanca
 Fuente: Elaboración propia



GEO MECÁNICA:	GEOLOGÍA:	TOPOGRAFÍA:	SEGURIDAD:		CATALINA HUANCA SOCIEDAD MINERA S. A. C. DEPARTAMENTO DE PLANEAMIENTO	Aprobado:	ESTRUCTURA	Diseño: W. Hinojosa
						Revisado:	NV-2 ZONA MELISSA	Escala: 1/500
				Topografía:		Fecha: 13/Oct/21		

Plano 2: Departamento de Planeamiento Mina Catalina Huanca
 Fuente: Elaboración propia

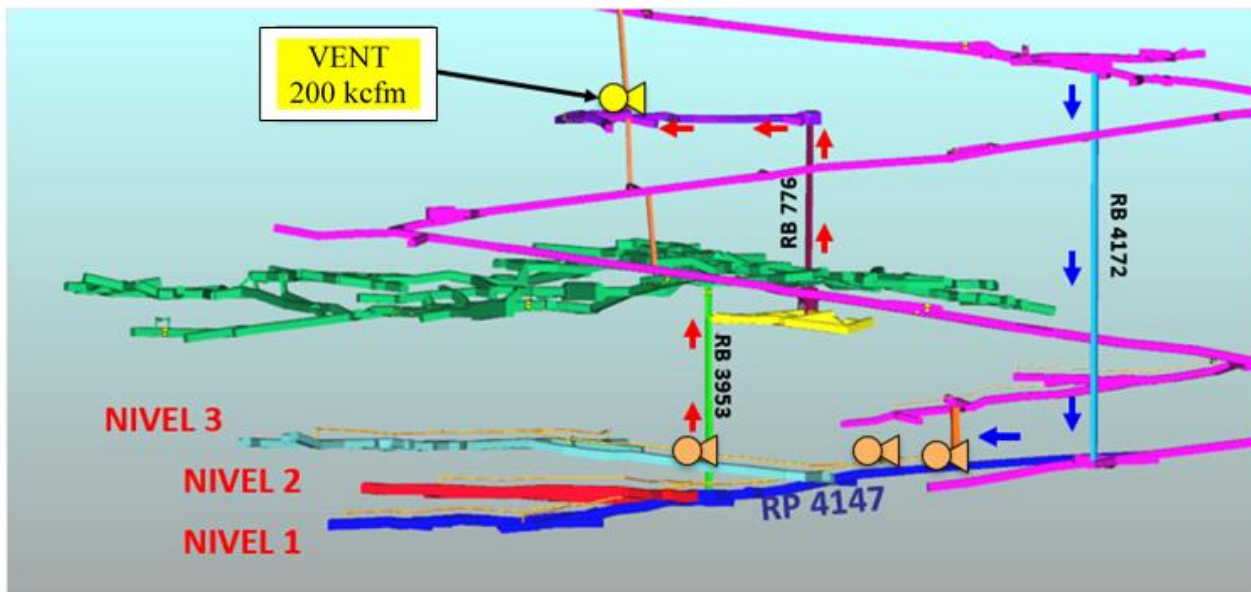


Figura 3.7: Diseño del circuito de ventilación para la explotación de Cuerpo Melissa.

Fuente: Elaboración Propia

3.6.1. Diseño de circuitos para plan de contingencia

El Plan de Contingencia consiste en la implementación de tecnologías de gestión para la coordinación, la alerta, movilización y respuesta, cuando la emisión de gas de estrato CO_2 se presenta por encima de los límites máximo permisibles.

Con este objetivo se instarán sensores de gas CO_2 , la ubicación y construcción de reguladores para direccionar caudales de aire hacia zonas críticas de emisión de este gas, establecer otras estrategias como la provisión de oxígeno, establecer horarios especiales, etc., para garantizar la operación normal de la mina.

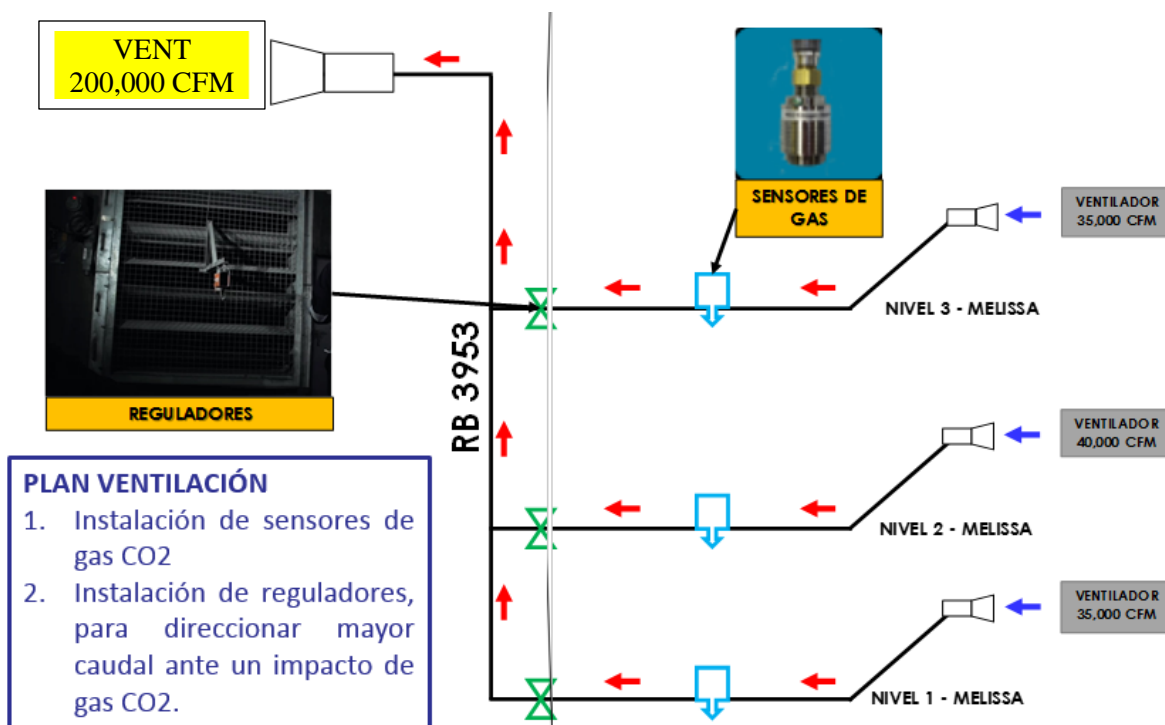


Figura 3.8: Circuitos de aire de ventilación con la instalación de sensores de gas CO₂
Fuente: Elaboración propia

3.7. REQUERIMIENTO DE AIRE PARA LA EXPLOTACIÓN

El requerimiento general de aire, es que todos los lugares donde se desplaza y trabaja el personal, los caudales de aire deben ser proporcionados en cantidad y calidad necesarias para garantizar la seguridad, la salud y una comodidad razonables de los trabajadores, cumpliendo al mismo tiempo las exigencias del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional (D.S. N 024-2016-EM), que exige el cálculo de requerimiento de aire tomando en consideración la altitud de ubicación de la mina:

Hasta mil quinientos (1,500) metros sobre el nivel del mar, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de tres metros cúbicos por minuto ($3 \text{ m}^3/\text{min}$). En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

- 1.- De 1,500 a 3,000 msnm aumentará en 40% que será igual a 4 m³/min
- 2.- De 3,000 a 4,000 msnm aumentará en 70% que será igual a 5 m³/min
- 3.- Sobre los 4,000 msnm aumentará en 100% que será igual a 6 m³/min”

La altitud promedio de la Mina Catalina Huanca es de 3250 m.s.n.m

Por otro lado, se ha utilizado los datos de campo obtenidos en el levantamiento de los sistemas de ventilación de la operación actual de la Mina Catalina Huanca, de cuerpos con explotación de taladros largos, porque el sistema de minado es igual para el cuerpo Melissa y con el apoyo del software comercial como el VentSim se elaboró un modelo de sistema de ventilación que deben cubrir los requerimientos de aire de la mina para mantener la continuidad operativa.

Igualmente, el requerimiento de aire para los equipos diésel no debe ser menor de 3 m³/min por la capacidad efectiva de potencia (HPs) y en función de su disponibilidad mecánica y utilización de acuerdo a la evaluación realizada por los responsables del área de mecánica de las maquinarias.

El cálculo de requerimiento de aire se realizó de acuerdo al Anexo 38 del RSSOM (D.S. N 024-2016-EM), considerando la explotación del Cuerpo Melissa primero el Nv 1, luego los Nvs 2 y 3 de manera secuencial, ver los datos en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Datos para el cálculo de requerimiento de aire.

ELEVACIÓN	3250 msnm
NÚMERO DE TRABAJADORES	9
ÁREA DE LA LABOR	4 m x 4 m x 11/12 = 14.67 m ²
VELOCIDAD MÍNIMA	25 m/min*
NIVEL DE VOLADURA	1

*Fuente: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S N.º 024-2016-EM y modificatoria D.S N.º 023-2017-EM.

3.7.1. Requerimiento de aire por el número de trabajadores (Q_{Tr})

$$Q_{Tr} = F \times N \quad \text{Eq. 10}$$

Donde:

Q_{Tr} = Cantidad de aire necesario para el personal (m^3/min)

F = Caudal de aire mínimo por persona según la altitud de la mina según lo indicado en el acápite 3.7 o Art. 47 del RSSOM.

N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa

F = 5 m^3/min

N = 9 trabajadores

$$Q_{Tr} = 5 \times 9 = 45 \text{ m}^3/\text{min}$$

3.7.2. Requerimiento de aire por temperatura en las labores de trabajo (Q_{Te})

La temperatura promedio en las labores asciende sobre 23°C. Para esta temperatura se toma la velocidad mínima según la siguiente información del RSSOM:

Tabla 3.4: VELOCIDAD MÍNIMA*

Temperatura seca (°C)	Velocidad mínima (m/min)
< 24	0.00
24 a 29	30.00

*Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería DS N° 024-2016-EM y modificatoria DS N° 023-2017-EM

$$Q_{Te} = V_m \times A \times N \quad \text{Eq. 11}$$

Donde:

Q_{Te} = Caudal de aire por temperatura, m^3/min

V_m = Velocidad mínima = 30 m/min

N = Número de niveles con temperatura mayor a 23°C = 1

A = Área del nivel 1 o de cámara = 14.67 m^2 .

$$Q_{Te} = 30 \times 14.67 \times 1 = 440.1 \text{ m}^3/min$$

3.7.3. Requerimiento de aire por equipos con motor petrolero (Q_{Eq})

Para el cálculo de requerimiento de aire por maquinarias diésel se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{Eq} = 3 \times HP \times D_m \times F_u$$

Donde:

Eq. 12

Q_{Eq} = Volumen de aire necesario por equipos diésel, m^3/min

HP = Total de HPs efectiva de potencia

D_m = Disponibilidad mecánica promedio de las maquinarias, %

F_u = Factor de utilización promedio de las maquinarias, %

Tabla 3.5: Equipos diésel que trabajarán secuencialmente en los Nivel 1, 2, 3 en el cuerpo Melissa

ACTIVIDAD	EQUIPOS	HP	FACTOR DE UTILIZACIÓN	DISPONIBILIDAD MECÁNICA	HP EFECTIVOS
PERFORACIÓN	Jumbo Boomer	97	0.17	0.96	16
ACARREO DE MINERAL	Scoop R1600H S18 4 yd3 (2)	336	0.643	0.96	207.4
TRANSPORTE	Volquete BCL 18	473	0.53	0.92	231
SOSTENIMIENTO	Jumbo Empernador JE-02	97	0.38	0.96	35.40
TOTAL					489.8*

*Este HP ya está afecto por D_m y F_u

Asimismo, se tiene que considerar el efecto de la altura en los motores diésel; para el cual se toma en cuenta el siguiente modelo matemático:

$$FA = \frac{Pe}{Pn} = \frac{P}{Po} \left(\frac{T}{To} \right)^{-0.5}$$

Donde:

FA: Factor por altitud (%).

Pe: Potencia indicada en el lugar de operación (HP).

Pn: Potencia de referencia normalmente a 0 msnm (HP).

P: Presión indicada en el lugar de operación (lb/pulg²).

Po: Presión de referencia normalmente a 0 msnm (lb/pulg²).

T: Temperatura indicada en el lugar de operación (°C).

To: Temperatura de referencia normalmente a 0 msnm (°C).

Datos:

P: Presión indicada en el lugar de operación: 10.652 lb/pulg².

Po: Presión de referencia a 0 msnm: 14.679 lb/pulg².

T: Temperatura indicada en el lugar de operación: 19.7 °C.

To: Temperatura de referencia normalmente a 0 msnm: 20 °C.

$$FA = \frac{10.652}{14.679} \left(\frac{19.7}{20} \right)^{-0.5}$$

$$FA = 0.731$$

$$\text{Total, HP} = 489.8 * 0.731 = 358.0 \text{ HP}$$

$$Q_{Eq} = 3 \times 358.0 = 1074 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Eq}$$

$$Q_{T1} = 45 + 440.1 + 1074 = 1559.10 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{T1} = 1559.10 \text{ m}^3/\text{min}$$

3.7.4. Caudal de aire que se pierde por fugas (Q_{Fu})

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{T1} \tag{Eq. 14}$$

$$Q_{Fu} = 0.15 \times 1559.10$$

$$Q_{Fu} = 234 \text{ m}^3/\text{min}$$

Caudal total de aire:

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu} \tag{Eq. 15}$$

$$Q_{To} = 1559.10 + 234 = 1793.10 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{To} = 1793.10 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 63,323.30 \text{ cfm}$$

3.7.5. Caudal de aire por la emisión del gas de estrato, dióxido de carbono (CO_2)

El método de control más útil por la emisión del gas de estrato como CO_2 , cuando se encuentra por encima de los límites máximo permisibles (LMP), es por dilución mediante el sistema de ventilación en general que luego son descargados hacia conductos de aire viciado. Ésta consiste en diluir el aire contaminado con aire fresco para mantener la concentración de los contaminantes debajo de los LMP.

La cantidad de aire necesaria para la ventilación por dilución es una función de tres factores: (1) la concentración máxima admisible (MAC) del contaminante, (2) la cantidad del contaminante que sale del frente de la mina, y (3) la concentración del contaminante en el aire entrante. La cantidad de aire necesaria para la dilución se calcula con la siguiente ecuación: Eq. 16

$$Q \geq Q_g \frac{(1 - MAC)}{(MAC - B)}$$

Donde:

MAC = Concentración máxima admisible, fracción

B = Concentración del gas en el aire entrante, fracción

Q_g = Caudal de entrada del gas en la atmósfera de la mina, cfm (m^3/s)

Q = Caudal del aire entrante, cfm (m^3/s)

Sin embargo, este modelo matemático tiene cuatro factores limitantes:

- 1.- La cantidad de contaminantes generados no debe ser excesivo, ya que de lo contrario el volumen de aire necesario para la dilución será impracticable,
- 2.- Los trabajadores deben estar lo suficientemente alejados de la fuente de contaminación o de lo contrario el contaminante debe estar lo suficientemente baja para que los trabajadores no experimenten la exposición por encima de las concentraciones aceptables,
- 3.- La toxicidad del contaminante debe ser baja, y
- 4.- La generación del contaminante debe ser razonablemente uniforme.

En la mina Catalina Huanca la emisión del CO_2 en los diferentes tajeos del nivel 2825 llega a un promedio máximo de 30,000 ppm y a un mínimo de 8000 ppm; por lo que el cálculo de caudal de aire para la dilución no será conveniente con la ecuación Eq 16, cuyo resultado sería impracticable, de acuerdo a la limitación número 1.

Sin embargo, durante los trabajos de desarrollo en los niveles 1, 2 y 3, se ha logrado bajar en la práctica debajo de los límites máximo permisibles de CO_2 (5000 ppm), ver la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Capacidad de los ventiladores para lograr ppm debajo de los LMPs

NIVELES	VENTILADOR	CONCENTRACIÓN DE CO ₂ .	
		Sin Ventilador	Con ventilador
Nivel 1	35,000 CFM	50,000 ppm	3,400 ppm
Nivel 2	40,000 CFM	10,000 ppm	3,000 ppm
Nivel 3	35,000 CFM	40,000 ppm	7,000 ppm

De esta información práctica de campo, deducimos que el promedio de la capacidad de ventiladores de 36,666.67 CFM puede rebajar hasta un promedio de 4,466.64 ppm; significa que por cada 1ppm se requiere 8.21 CFM de caudal de aire. Asimismo, el promedio de emisión de gases de CO₂ de los frentes de trabajo es de 19000 ppm, tomando en cuenta el máximo y mínimo mencionado en el párrafo anterior. De acuerdo a esta realidad práctica el caudal de aire para reducir los gases de CO₂, son: $19000 \text{ ppm} \times 8.21 \text{ CFM} = 155990 \text{ CFM} = 4,417.17 \text{ m}^3/\text{min}$. Por otro lado, tomamos del aire con 20.95% de O₂ y 0.03% de CO₂ y expulsamos con 16% de O₂ y 5% de CO₂, ver figura 3.8; por eso en las labores subterráneas en operación la cantidad de oxígeno de aire no debe ser inferior a 19.5% a cualquier altitud de la mina.

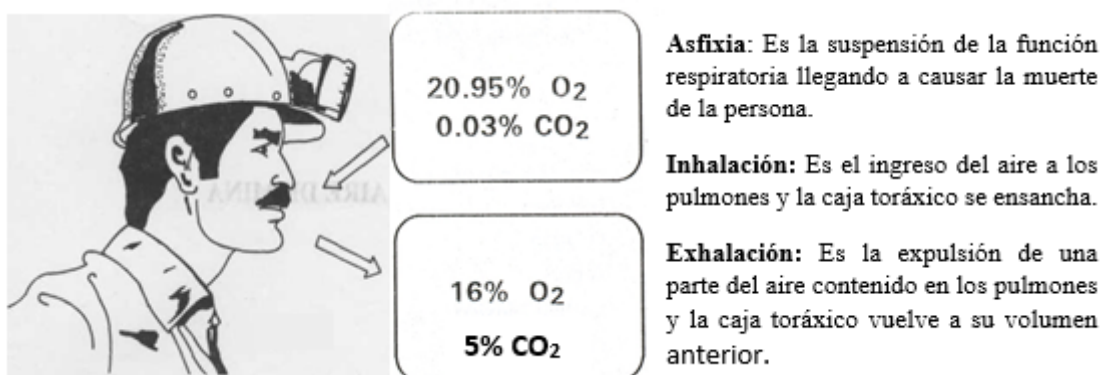


Figura 3.9: Proceso de respiración de un trabajador.

Fuente: Elaboración propia

También las investigaciones consideran, que la cantidad de aire que **requiere un trabajador depende del ritmo de trabajo y de la constitución física de cada persona**, ver la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Tasas típicas de consumo de O₂ y producción de CO₂ durante la respiración humana

	A	B	C	D	E
Actividad	Respiración por minuto	Volumen de Inhalación de aire (ft ³ /min)	a) Volumen de O ₂ consumido (ft ³ /min)	b) Cociente respiratorio CO ₂ /O ₂	CO ₂ evacuado o producido. (ft ³ /min) a) x b)
En descanso	12-18	0.2-0.5	0.01	0.75	0.0075
En trabajo moderado	30	1.6-2.1	0.07	0.9	0.063
En trabajo muy vigoroso	40	3.5	0.10	1.0	0.10

Fuente: Basado en el trabajo de Forbes and Grove (1954)

Esta tabla nos indica, que a mayor actividad respiramos más veces por minuto, nos agitamos y necesitamos mayor cantidad de oxígeno del aire (ver las columnas A y C de la tabla 3.7) y por lo tanto mayor número de CFM del aire (ver la columna B). La utilidad de esta tabla es para estimar en la respiración humana los efectos de las concentraciones O₂ y CO₂ en áreas confinadas como en las labores subterráneas.

De acuerdo a esta tabla 3.7 se determinó el aire necesario para contribuir a controlar la emisión del gas CO₂ para la explotación del cuerpo Melissa. Igualmente, el RSSOM en el Art. 246 (b) exige mantener para la dilución de los gases en el ambiente de trabajo, un mínimo de oxígeno de 19.5% a cualquier altitud de la mina y el CO₂ en el LMP de 0.5% que equivale a 5000 ppm; tomando en cuenta estas consideraciones planteamos un ejemplo de cálculo para determinar el

aire fresco necesario por persona y no permitir mayor concentración del gas CO₂ en el proceso de minado del cuerpo Melissa.

¿Cuántos ft³ de aire necesitamos, en un trabajo forzado, para que la concentración del CO₂ no pase más allá de su límite máximo permisible, que nos atonte y llegue a asfixiarnos?

Solución:

La máxima concentración permisible del CO₂ es de 0.5%.

$$\left(\begin{array}{c} \text{Cantidad} \\ \text{de CO}_2 \text{ en} \\ \text{el aire de} \\ \text{ingreso} \end{array} \right) \text{ Más } \left(\begin{array}{c} \text{Cantidad de CO}_2 \\ \text{resultado de la} \\ \text{respiración en} \\ \text{trabajo vigoroso} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Cantidad de} \\ \text{CO}_2 \text{ en el aire} \\ \text{exhalado} \end{array} \right)$$

$$0.0003Q \quad + \quad 0.1 \quad = \quad 0.005Q$$

$$Q = \frac{0.1}{0.0047} = 21.30 \text{ CFM}$$

Para la explotación del cuerpo Melissa el total de personal para nivel 1, 2 y 3, de manera secuencial, son 9 trabajadores promedio y el caudal de aire fresco que se requiere es:

$$Q_{gas} = 9 \text{ trab} \times 21.3 \text{ cfm/trab} = 191.7 \text{ cfm} (5.43 \text{ m}^3/\text{min})$$

El requerimiento de aire fresco para toda la zona de Cuerpo Melissa se resume en la siguiente tabla 3.8.

Tabla 3.8: La demanda total de aire para la explotación del cuerpo Melissa

Cálculo normal de aire para la mina	Caudal de aire por trabajadores	45 m ³ /min	1 589.20 CFM
	Caudal de aire por temperatura	440.1 m ³ /min	15 542.10 CFM
	Caudal de aire por maquinarias diésel	1074 m ³ /min	37 928.30 CFM
	Caudal de aire por fugas	234 m ³ /min	8 263.70 CFM
TOTAL, PARCIAL		1 793.1 m³/min	63 323.30 CFM
Cálculo especial para gas de estrato	Requerimiento de aire por gas de estrato CO ₂ .	4417.17 +5.43 m ³ /min	156,184.12 CFM
TOTAL		6215.7 m³/min	219,507.42 CFM

En consecuencia, se recomienda adquirir un ventilador de 200,000 CFM de capacidad para cumplir con la seguridad de la explotación del yacimiento Melissa.

3.8. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE ESPECIALIDAD

Las metodologías de planificación de los sistemas de ventilación de minas mediante el uso de programas informáticos como el VentSim permiten introducir datos, para facilitar la simulación de los circuitos de ventilación minera. Sin embargo, para comprender su alcance, sus limitaciones y el uso eficaz del software VentSim, requiere el conocimiento de su estructura.

VentSim es un programa de simulación para producir resultados numéricos que se aproximan a los dados por el sistema real de ventilación. Hay tres consideraciones que rigen su precisión:

Primero, la adecuación de cada proceso individual que está representado por la ecuación correspondiente, por ejemplo, $H = R Q^2$.

Segundo, la precisión de los datos utilizados para caracterizar el sistema real, por ejemplo, las resistencias de los conductos de ventilación.

Tercero, la precisión del procedimiento numérico, por ejemplo, el criterio de corte para terminar las iteraciones cíclicas.

Igualmente, el software tiene herramientas de diseño en VentSim, que son:

1. Herramientas de menú
2. Herramientas de acción
3. Herramientas de datos
4. Herramientas de vista
5. Administrador de pantalla

A través de estas herramientas se hace la configuración de **unidades**, la configuración de los **parámetros termo ambientales** (de la mina y de zona de estudio) y de **los costos**. También de acuerdo de cómo se debe crear las presiones de flujo, existe tres métodos para producir o ingresar las presiones:

- Ventiladores
- Presiones fijas, y
- Caudales fijos

En la práctica tanto los ventiladores y los caudales fijos previamente determinados, son los que se incorporan para la simulación de caudales en los circuitos. El número de simulaciones

depende del caudal y de las presiones, que deben circular los caudal de aire necesarios en cada uno de los conductos de ventilación; sin embargo podemos sugerir un mínimo de 2 simulaciones.

Asimismo, VentSim interactúa con varios elementos que comprenden tanto los sistemas físicos como procedimientos organizativos. Con VentSim se simula el sistema de ventilación con la herramienta de acción [F5] “Air simulation”. Luego de la simulación normalmente existen errores de “advertencia” que son corregidos.

La figura 3.7, también es un ejemplo de simulación de circuito de ventilación de la zona de Melissa donde va ser instalado un ventilador aspirante de 200,000 CFM; por otro lado, durante la explotación, en cada nivel va ser instalado ventiladores secundarios como em Nivel 1 de 35,000 cfm, Nivel 2 de 40,000 cfm y Nivel 3 otro de 35,000 cfm para ayudar a evacuar los gases tóxicos de los frentes de trabajo críticos

El aire viciado es evacuado por los RB 3953 y RB 776 hasta llegar al crucero 2870, donde está ubicado un ventilador aspirante de 200,000 CFM; mientras el aire fresco baja por el RB 4172 y RB 4147 y se conecta con la RP 4147, para ventilar secuencialmente la operación de los niveles 1, 2 y 3 resultando un mejor ambiente y mayor seguridad para los trabajadores y maquinarias.

En conclusión, mediante la simulación de este circuito el funcionamiento del ventilador facilita un ingreso óptimo de aire fresco hacia la profundización de la mina.

3.9. BALANCE DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA MINA

El balance del sistema de ventilación referidos al ingreso y salida de aire de la mina es parte de la evaluación integral de ventilación, donde la diferencia de caudales de aire entre los ingresos y salidas de aire no sobrepasan el 10% (D.S. 024-2016-EM), pero en la práctica el caudal de aire de salida siempre debe ser mayor que el caudal el aire de ingreso, porque en la mina se incrementa los volúmenes por el uso de aire comprimido, la humedad y presión de vapor del agua reinante en la mina y la descarga de los gases de las maquinarias diésel y de los explosivos utilizados en la fragmentación de rocas. También existen cambios de densidad del aire que se refleja en cambios de volumen de aire y rendimiento de los ventiladores.

Como el estudio de ventilación es a nivel de factibilidad para explotación del cuerpo Melissa, solamente disponemos del caudal de aire de ingreso a nivel de demanda de 100,000 CFM para la explotación indicada.

3.10. COBERTURA DE REQUERIMIENTO DE AIRE

La cobertura de requerimiento de aire, es un indicador para la evaluación de la eficiencia de la gestión de ventilación según la capacidad instalada de la infraestructura y equipamiento correspondiente. Se determina con la siguiente expresión:

$$C = \frac{Q_i}{Q_d} \times 100 \quad \text{Eq. 17}$$

Donde:

C: Cobertura de la demanda de aire en, %

Q_i : Caudal de ingreso de aire fresco en, CFM

Q_d : Caudal de demanda de aire de la mina en, CFM

La gestión eficiente es cuando: $100\% = C \leq 105\%$

Igualmente, como el estudio de ventilación es a nivel de factibilidad para explotación del cuerpo Melissa, solamente disponemos del caudal de aire de demanda de 200,000 CFM para su explotación.

3.11. DIÁMETRO ECONÓMICO DE RAISE BORER

Previamente se realizó una evaluación de los circuitos de aire en la zona Melissa, el sistema de minado y luego utilizando el software VentSim se determinó la ubicación adecuada de los Raise Borer (RB).

Se construirá el RB 4172 de 156 m vertical con ϕ de 3.80 m como conducto de ingreso de aire fresco; mientras los RB 776 de 83.6 m y RB 3953 de 91 m son conductos para la evacuación del aire viciado con igual diámetro.

Para determinar el diámetro óptimo (ϕ) de los Raise Borer se toma en consideración los siguientes:

1.- La caída de presión del conducto de ventilación, se determina mediante la siguiente ecuación 1:

$$H = \frac{K P L Q^2}{5.2 A^3}$$

Donde:

H: Pérdida de presión, en pulg de H₂O

K: Coeficiente de fricción del conducto, lb.min²/ft⁴.

P: Perímetro de la sección transversal del conducto, en ft.

L: Longitud del ducto, en ft.

Q: Caudal de aire en el conducto, en ft³/min.

2.- Transformación de la caída de presión H para una chimenea circular, tenemos:

$$H = 1.247 \frac{K (L + L_e)}{D^5} Q^2 * \frac{\omega}{0.075} \quad \text{Eq. 18}$$

3.- El HP de trabajo de la operación del ventilador, está dado por:

$$HP = \frac{H Q}{6346 n}$$

Donde:

HP: Potencia del motor del ventilador, en HP.

H: Pérdida de presión, en pulg de H₂O

Q: Caudal de aire, en ft³/min.

n: Eficiencia del motor del ventilador, normalmente encima de 75%.

Reemplazando esta ecuación de caída de presión en la ecuación de potencia, tenemos

$$HP = 1.247 \frac{K (L + L_e)}{D^5} Q^2 * \frac{Q}{6346 \eta} * \frac{\omega}{0.075}$$

$$HP = 1.965 \times 10^{-4} \frac{K (L + L_e)}{D^5 \eta} Q^3 * \frac{\omega}{0.075}$$

4.- El costo de operación (CO):

$$CO = C_e * HP$$

C_e = Costo de energía anual

Reemplazando en esta ecuación, la ecuación de potencia (HP), tenemos:

$$CO = C_e * 1.965 * 10^{-4} * \frac{K(L + L_e)}{D^5 \eta} Q^3 * \frac{\omega}{0.075}$$

5.- El costo de inversión (CI):

$$CI = Cf * C_{exc} * V$$

Donde:

Cf = Costo financiero (interés), está en función de interés y tiempo

C_{exc} = Costo de excavación en, \$/ft³

$$V = \text{Volumen de la labor}, V = \frac{\pi D^2 L}{4}$$

Reemplazando el valor de V en la ecuación de costo de inversión (CI), tenemos:

$$CI = Cf * C_{exc} * \frac{\pi D^2 L}{4} = 0.7854 * Cf * C_{exc} * D^2 * L$$

6.- El costo total (CT):

$$CT = CO + CI$$

Reemplazando en esta ecuación los valores de CO y CI, tenemos:

$$CT = C_e * 1.965 * 10^{-4} * \frac{K(L+L_e)}{D^5 \eta} Q^3 * \frac{\omega}{0.075} + 0.7854 * Cf * C_{exc} * D^2 * L$$

Para que el costo sea mínimo se toma la primera derivada del CT con respecto a D e igualando

a cero, tiene:

$$\frac{\partial CT}{\partial D} = 0$$

El resultado después de la derivación:

$$D^7 = \frac{6.27 * 10^{-4} * C_e * K * 10^{-10} (L + L_e) Q^3}{\eta * C_f * C_{exc} * L} * \frac{\omega}{0.075}$$

$$D = \sqrt[7]{\frac{6.27 * 0.0001 * C_e * K * 0.0000000001 * (L + L_e) Q^3}{\eta * C_f * C_{exc} * L} * \frac{\omega}{0.075}} \quad \text{Eq. 19}$$

Donde:

D = Diámetro económico en, ft.

C_e = Costo de energía en, \$/KW año

L = Longitud física en, ft.

L_e = Longitud equivalente en, ft.

K = Factor de fricción en, lb.min²/ft⁴.

Q = Caudal de aire en, CFM.

η = Eficiencia del ventilador

C_{exc} = Costo de excavación en, \$/ft³.

Determinamos el ϕ óptimo de RB, con los siguientes datos:

K = Factor de fricción de RB, 64.0982×10^{-10} lb.min²/ft⁴.

L = Longitud de RB, 330.6 m = 1084.7 ft.

ω = Densidad del aire en mina, 0.0513 lb/ft³.

η = Eficiencia del ventilador, 75% = 0.75

C_e = Costo de energía = 0.62 \$/kwh = 5431.2 \$/kwaño

C_f = Carga financiera = 0.2525, para el cual se ha considerado:

- Plazo de amortización 10 años
- Interés anual del capital 18%
- 3% por seguro y mantenimiento

C_{exc} = Costo de excavación, 5.55 \$/ft³. (se asumió de 196 \$/m³)

Q = 200,000 CFM.

Reemplazando los datos mencionados de la mina, tenemos:

$$D = \sqrt[7]{\frac{6.27 * 0.0001 * 5.55 * 64.0982 * 0.0000000001 * 1084.7 * (200000)^3}{0.75 * 0.2525 * 5.55 * 3245}} * \frac{0.0513}{0.075}$$

$$D = 14.15 \text{ ft} = 4.31 \text{ m}$$

Por otro lado, los Raise Borer perforan sólo los siguientes ϕ :

Tabla 3.9: Diámetros (ϕ) que perforan los RB

RAISE BORER (RB)	DIÁMETROS (ϕ)
RB	1.5 m
RB	1.8 m
RB	2.1 m
RB	2.4 m
RB	2.8 m
RB	3.10 m
RB	3.8 m
RB	4.0 m

Por consiguiente, el diámetro económico de las Chimeneas RB son de 4.0 m. También podemos representar gráficamente, variando el caudal de aire que circularía por la chimenea, y utilizando la siguiente ecuación deducida de la ecuación 19.

$$D = 0.076 * Q^{3/7}, \text{ en ft}$$

Tabla 3.10: Diámetro óptimo de RB para diferentes caudales de aire

CAUDAL (Q) x 1000 (ft ³ /min)	DIÁMETRO (D) (ft)
10	3.92
50	7.81
100	10.52
150	12.51 m
200	14.15 = 4.31 m
250	15.57
300	16.84
350	17.99
400	19.05

$$D = \sqrt[3]{0.00000001463246749} \times \sqrt[3]{Q^3}$$

$$D = \sqrt[3]{X} \times \sqrt[3]{Q^3}$$

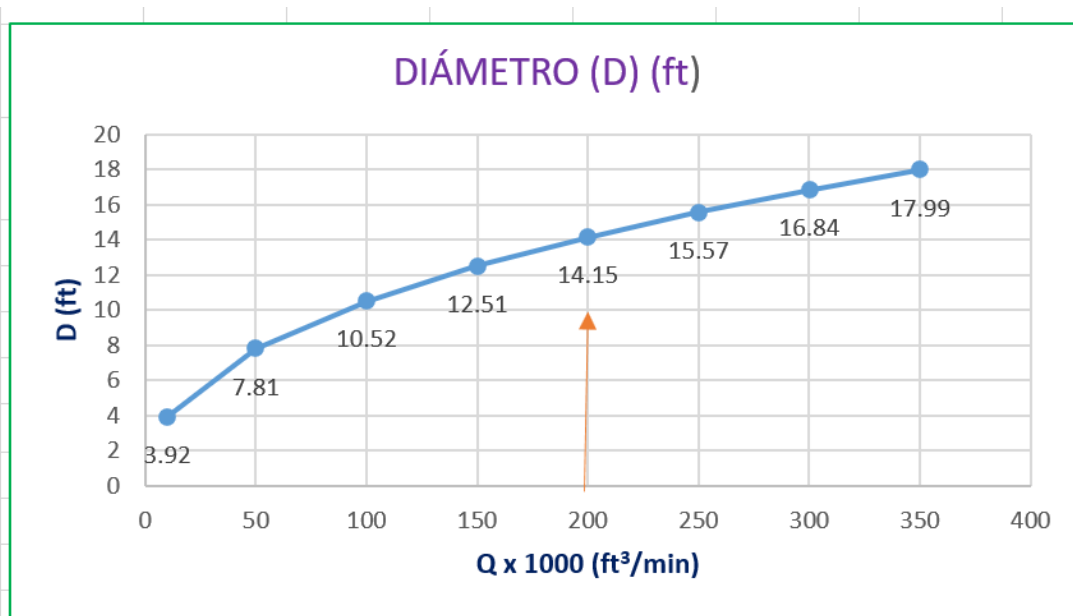


Figura 3.9: Diámetro óptimo de RB para diferentes caudales de aire

3.12. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL CUERPO MELISSA

Con la simulación del sistema de ventilación con ventilador de 200,000 CFM garantiza un adecuado funcionamiento del sistema instalando en el Crucero 2870 para ventilar los Niveles 1, 2 y 3 de manera secuencial la Zona Melissa. Además, este ventilador garantiza un buen ingreso de aire fresco desde RB 4147, donde tendrá mejores condiciones de trabajo y emisiones de gas CO₂, permitiendo un mejor avance y producción en las labores; asimismo, para cada nivel se debe instalar un ventilador secundario de capacidad mínima de 40,000 CFM, para extraer los gases tóxicos de los frentes de trabajo. La implementación de este sistema asciende a un costo de \$904,074, que se muestra de manera resumida en la siguiente tabla 3.11.

Tabla 3.11: Costo de implementación de sistema de ventilación para el Cuerpo Melissa

DATOS	COSTOS
COSTOS DE INVERSIÓN	
Compra del ventilador (200 KCFM)	S/. 600 000
Compra del ventilador (40 KCFM)	S/. 15 000
Imprevistos (3%)	S/. 18 450
Subtotal	S/. 633 450
COSTOS DE OPERACIÓN	
Consumo de energía	S/. 280 800.720/año
Alquiler de equipos	S/. 50 000
Manga de ventilación	S/. 5 000
Mantenimiento del ventilador	S/. 10 000/año
Mano de obra (S/. 7050/m x 330.6 m)	S/. 2'330,730
Imprevistos 3%	S/. 80 296
Subtotal	S/. 2'756,827
COSTO TOTAL	S/. 3'390,277 = \$ 904,074

Fuente: Elaboración propia

Tipo de cambio: 1\$ = 3.75 soles

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MATERIALES

Durante la estadía en la mina Catalina Huanca se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

- Navegador GPS
- Cámara fotográfica digital
- Información y Planos del sistema de minado y del sistema de ventilación actual de la Mina
- Software VentSim versión 5.2
- Equipo Multifunción TESTO 480
- Equipos autorescatador y protección de respiración autónoma (EPRA)
- Diversos instrumentos de medición para el levantamiento del sistema de ventilación

4.2. METODOLOGÍA

Los métodos son procedimientos que permiten al investigador lograr los objetivos previamente establecidos; como tal los métodos utilizados son:

Método Analítico-Sintético: permitió analizar el sistema de ventilación actual y del cuerpo Melissa para plantear la ventilación del nuevo sistema de minado en el Cuerpo Melissa.

Método Descriptivo-Explicativo: Permitió lograr un mejor sistema de ventilación utilizando el software VentSim para plantear el sistema de ventilación eficaz con diámetro de RB óptimo. También la dilución de los gases de estrato encima de los LMP requiere considerar un cálculo especial que se plantea en este trabajo de investigación.

4.2.1. Nivel y Tipo de Investigación

Esta investigación de acuerdo al tipo y uso de la información, es **aplicada**, porque se trata de utilizar el resultado de los cálculos realizados para implementar el sistema de ventilación; asimismo, el nivel de investigación es **descriptivo-analítico** porque describe y analiza todos los factores de ventilación para determinar el requerimiento de aire fresco; el diseño es transversal y correlacional.

4.2.2. Diseño de Investigación

El diseño de investigación es no experimental que comprende:

- Investigación documental y de campo.
- Transversal de corte descriptivo y correlacional.

4.2.3. Técnicas de Recolección de Datos

Para la recolección de la información se ha utilizado la técnica **entrevista de opinión** a los ingenieros de ventilación y a los proyectistas del sistema de minado y se realizó levantamiento del sistema de ventilación para ser registrados, clasificados y tabulados los parámetros técnico-operativos aplicables al sistema de ventilación del proyecto de minado del Cuerpo Melissa.

Igualmente se realizó la simulación de ventilación para la ubicación de las chimeneas RB y calcular el diámetro óptimo de RB; con esta información se ha establecido los circuitos de ventilación.

a.- Población.

La población está constituida por el sistema de ventilación principal, secundaria y auxiliar de las labores de toda la mina Catalina Huanca.

b.- Muestra.

Es el subconjunto de los circuitos de ventilación del proyecto de explotación del Cuerpo Melissa.

4.2.4. Análisis de Datos

La información recopilada en el trabajo de campo se ha utilizado para calcular los diversos parámetros de ventilación minera y para la simulación de ventilación utilizando el software VentSim que ha permitido la ubicación adecuada de las chimeneas RB y los circuitos de ventilación de ingreso y retorno del aire, para garantizar que el ingreso de aire debe ser mayor aproximadamente en 5% que el aire de demanda.

4.2.4.1. Ficha de recolección de datos

	TESIS: "DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL MINADO DEL CUERPO MINERALIZADO MELISSA MINA CATALINA HUANCA SAC. 2021"						
	Ficha de datos requerimiento de ingreso de aire a Zona del proyecto						
	TESISTA: FREDY PARIONA CUARESMA						
Estac.	Ubicación			Area	Velocidad	Caudal	Dist.
	Nivel	Labor	Detalle	m2	m/min	cfm	(%)

VALIDACIÓN

EXPERTO	NOMBRES	CIP	NOTA
EXPERTO 1	Huarcaya Ortiz Jorge	273727	16

CAPÍTULO V

RESULTADOS y DISCUSIÓN

5.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS

La hipótesis principal “El diseño del sistema de ventilación garantiza en gran medida la circulación de aire fresco y reducción de gases en cantidad y calidad necesaria para el minado del cuerpo Melissa 2021”.

5.1.1. Prueba de normalidad de la variable sistema de ventilación

Para la contrastación de la hipótesis se utilizó un nivel de significancia de 0.05% para observaciones pareadas, para probar la hipótesis con 0.05% de significancia y podemos probar mediante la formulación de **hipótesis de investigación H_i** e **Hipótesis nula H_o** , teniendo presente los resultados:

A.- Prueba de hipótesis principal:

H_i : El diseño del sistema de ventilación garantiza la circulación de aire fresco y reducción de gases en cantidad y calidad necesaria para el minado del cuerpo Melissa.

H_o : El diseño del sistema de ventilación **no** garantiza la circulación de aire fresco y reducción de gases en cantidad y calidad necesaria para el minado del cuerpo Melissa.

Para la comprobación de la hipótesis principal se ha diseñado el circuito de aire fresco y de aire viciado concordante a las excavaciones proyectadas para el sistema de minado, simulando con el software VentSim.

B₁: Primera hipótesis secundaria:

H_i: El volumen de aire fresco necesario circulará por los conductos principales de ventilación.

H₀: El volumen de aire fresco necesario **no** circulará por los conductos principales de ventilación.

Para la comprobación de la primera hipótesis, se ha calculado el requerimiento de aire considerando el número de trabajadores, las maquinarias diésel, la temperatura reinante en el lugar de trabajo y la emisión de los gases de estrato.

B₂: Segunda hipótesis secundaria:

H_i: La ubicación y la capacidad de los ventiladores garantizan el ingreso de aire fresco para el personal y maquinarias durante el minado del cuerpo Melissa.

H₀: La ubicación y la capacidad de los ventiladores **no** garantizan el ingreso de aire fresco para el personal y maquinarias durante el minado del cuerpo Melissa.

Para la comprobación de esta hipótesis secundaria, se ha calculado con el volumen total de aire de 200,000 cfm (tabla 3.8) la capacidad del ventilador que garantiza la provisión del aire necesario para el minado del cuerpo Melissa.

$$H_0: \mu_{ANTES} = \mu_{DESPUES}$$

$$H_0: \mu_{ANTES} > \mu_{DESPUES}$$

Tabla 3.12: Estadísticos descriptivos para la prueba de Wilcoxon

	N	Media	Desv. Desviación	Mínimo	Máximo
SinVentilador	3	33333,3333	20816,65999	10000,00	50000,00
ConVentilador	3	4466,6667	2203,02822	3000,00	7000,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.13: Estadísticos de prueba de Wilcoxon

	ConVentilador - SinVentilador
Z	-1,604 ^b
Sig. Asintótica (bilateral)	0,098

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Se basa en rangos positivos.

Fuente: Elaboración propia

Decisión: se realiza con base en el valor de significancia asintótica bilateral dividido entre 2, ya que la prueba es unilateral.

Significancia asintótica bilateral /2 = 0.049 <; entonces se rechaza H₀

Conclusión: con un nivel de significación de 0.049, se puede afirmar que la implementación del diseño del sistema de ventilación garantiza en gran medida la circulación de aire fresco y reducción de gases en cantidad y calidad necesaria para el minado del cuerpo Melissa 2021

5.2. RESULTADOS

1.- El estudio y análisis del sistema de ventilación para la explotación del Cuerpo Melissa se presenta en dos escenarios:

a.- El requerimiento de aire cuando la mina utiliza maquinarias diésel. Se ha calculado el requerimiento normal de aire considerando los parámetros de número de personal, temperatura reinante en la mina y para el uso de maquinarias diésel, que asciende a un caudal de aire fresco de 63,323.30 CFM, ver la tabla 3.8.

b.- El requerimiento de aire fresco para la emisión del gas de estrato CO₂. Es un cálculo especial que se realizó de acuerdo al sistema de ventilación experimentado en el campo durante el proceso de excavación de los niveles 1, 2 y 3, mediante el cual la emisión de los gases CO₂, por encima de los LMP se ha logrado mantener debajo de los LMP de 5000 ppm; también se consideró el requerimiento de oxígeno por persona para el número de trabajadores que trabajarán en cada nivel, considerando la actividad física que exige los trabajos mineros, para los 2 casos, ver la tabla 3.8. El caudal de aire fresco que asciende para diluir y evacuar los gases de estrato indicado asciende a 156,184.12 CFM de aire fresco.

2.- El diámetro óptimo de los RB determinado es de 4.0 m ϕ con un costo de 2735 \$/m, ver la tabla 3.11.

5.3. DISCUSIÓN

1.- La demanda de aire en interior mina que asciende a 200,000 CFM, cubre los 105% a 110% de aire fresco, que es una condición legal para un trabajo saludable y mantener el gas de CO₂,

debajo de los LMP de 5000 ppm. Para controlar el gas de estrato debajo de los LMPs, se dedujo que por cada 1 ppm de contaminante se requiere 8.21 CFM de aire fresco

2.- Para las mismas condiciones ambientales y físicas de la mina Melissa respecto a las zonas en explotación, el ϕ óptimo de los RBs es proporcional al caudal de aire que circula por ella, se muestra en la figura 3.8.

3.- En la mina Catalina Huanca, la explotación de los cuerpos mineralizados en profundidad tendrán similares condiciones de operación minera, por la emisión de los gases de estrato mencionados en concentraciones mayores que el límite permisible, y debe considerarse esta metodología de cálculo.

CONCLUSIONES

- 1.- El caudal de aire fresco de 200,000 CFM que circularán por los conductos principales de ventilación, cubre el caudal de aire de demanda para la explotación minera del Cuerpo mineralizado Melissa; y es el caudal de aire necesario para mantener la dilución y evacuación de todos los gases tóxicos de la mina.
- 2.- La capacidad del ventilador aspirante de 200,000 CFM garantiza el requerimiento de aire para personal y equipos de la mina; asimismo, para el minado de cada nivel va ser instalado ventiladores secundarios de 35000 cfm para el Nivel 1, 40000 cfm para el Nivel 2 y otro de 35000 cfm para el Nivel 3 para ayudar a evacuar los gases tóxicos de los frentes críticos de trabajo.
- 3.- La planificación del sistema de ventilación mediante el uso de programas informáticos como el VentSim permiten introducir datos, para facilitar la simulación de los circuitos de ventilación minera. Sin embargo, para comprender su alcance, sus limitaciones y el uso eficaz del software VentSim, requiere el conocimiento de su estructura.

RECOMENDACIONES.

- 1.- Todos los conductos de ventilación deben ser calculados con sección adecuada que optimiza la circulación de aire en la mina.
- 2.- Cuando la emisión del gas de estrado es por todos los frentes de trabajo, es recomendable instalar ventiladores aspirantes booster de 40,000 CFM con mangas de ventilación rígidas para succionar todo el aire viciado.
- 3.- El requerimiento de aire fresco para la emisión del gas de estrado CO_2 , debe mantenerse siempre debajo de los LMP de 5000 ppm.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- AIRTEC S.A. (2017). Informe técnico N.º 002-2017- Catalina Huanca. Bautista, J. (2017). *Diseño y planeamiento de minado subterráneo para incrementar la producción diaria de la unidad operativa Pallancata – Proyecto Pablo – Compañía Minera ARES S.A.C.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Recuperado de http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4072/Bautista_Condori_Julio_Saraeen.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 2.- CATALINA HUANCA SOCIEDAD MINERA S.A.C. (2018). Informe interno de la presencia de gas CO₂ en la mina.
- 3.- CATALINA HUANCA SOCIEDAD MINERA S.A.C (2020). *Plan de Minado de la Unidad Minera*. Ayacucho. Congreso de la República (2011). *Ley N° 29783 Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Lima: Congreso de la República.
- 4.- CONGRESO DE LA REPÚBLICA (2012). *Reglamento de la Ley N° 29783*. Decreto Supremo N° 005-2012-TR. Lima: Congreso de la República.
- 5.- CONGRESO DE LA REPÚBLICA (2017). *Decreto Supremo N° 023-2017-EM que modifica el Decreto Supremo N° 024-2016-EM*. Lima: Congreso de la República. Educalingo. *Psychrometer definition*. <https://educalingo.com/en/dic-es/psicrometro>
- 6.- HOWARD, H., MUTMANSKY, J., RAMANI, R. Y WANG, Y. (1997). *Mine Ventilation and Air Conditioning*. Canada: Printed in the United States of America.
- 7.- INOFUENTE, J. (2019). *Diseño y evaluación de alternativas del Sistema de Ventilación para el cuerpo Melissa Nv. 2775, con alta concentración de gases de dióxido de carbono (CO₂)*

– *Unidad Minera Catalina Huanca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9680>

8.- JIMÉNEZ, P. (2011). *Ventilación de minas subterráneas y túneles*. Lima: ISEM. Recuperado de: <https://docplayer.es/70278867-Presentacion-del-libro-ing-pablo-jimenez-ascanio-jueves-minero-10-de-noviembre-de-2011.html>

9.- LLANO, C. (2017). *Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de Minera Sotrami S.A. – UEA Santa Filomena – aplicando el software Ventsim*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3095>.

10.- MCPHERSON, M. (1993). *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*. Inglaterra. Recuperado de https://wipp.energy.gov/Library/Information_Repository_A/Supplemental_Information/2019/References/McPherson.%202009.pdf

11.- PORTILLA, R. Y VELARDE, B. (2018). *Propuesta técnica de mejora del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea polimetálica – 2015*. (Tesis de pregrado). Universidad Católica del Perú. Recuperado de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/11523>

12.- QUISPE, E. (2017). *Caracterización y diseño de sistema de ventilación para mejora de la circulación del aire en el proyecto minero Inmaculada 4- CIEMSA*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3463>

13.- RIVERA, G. (2020). *Análisis del circuito de ventilación mediante simulación con Ventsim de una mina subterránea de carbón artesanal en la Provincia de Arauco, Región de Biobío*.

(Tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Chile. Recuperado de <http://repositorio.udec.cl/xmlui/handle/11594/4630>

14.- ROJAS, J (2007). *Planeamiento del Sistema de Ventilación Principal de la U.M. el Porvenir de la Compañía Minera Milpo S.A.A.* (Tesis pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

15.- ZENTENO, N. (2017). *Explotación de la veta prometida mediante el método de corte y relleno ascendente selectivo Unidad Minera Santa Filomena Empresa Minera SOTRAMI S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Recuperado de

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2969/MIzesanh.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA EL MINADO DEL CUERPO MINERALIZADO MELISSA-MINA CATALINA HUANCA SAC-2021”

PROBLEMAS	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>1.- PROBLEMA PRINCIPAL ¿En qué medida el diseño de sistema de ventilación garantiza el requerimiento de aire para el minado del cuerpo Melissa en la mina Catalina Huanca - 2021?</p> <p>2.-PROBLEMAS SECUNDARIOS 1.- ¿Cuánto es el caudal de aire fresco que circularán por los conductos principales de ventilación? 2.- ¿Cuánto es la capacidad de los ventiladores que garantiza el requerimiento de aire para personal y maquinarias?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Determinar el requerimiento de aire fresco necesario para el sistema de minado del cuerpo Melissa- 2021.</p> <p>Objetivos específicos. 1.- Simular el caudal de aire fresco que circularán por los conductos principales de ventilación. 2.- Determinar la capacidad y ubicación de los ventiladores que cubra el requerimiento de aire para personal y maquinarias.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL El diseño del sistema de ventilación garantiza la circulación de aire fresco en cantidad y calidad para el minado del cuerpo Melissa.</p> <p>HIPÓTESIS SECUNDARIAS 1.- El volumen necesario de aire fresco circulará por los conductos principales de ventilación. 2.- La capacidad y ubicación de los ventiladores garantizan el ingreso de aire fresco para el personal y maquinarias para el minado del cuerpo Melissa.</p>	<p>1.VARIABLE INDEPENDIENTE Diseño del sistema de ventilación. <u>Indicadores</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Caudal de aire fresco. ▪ Capacidad de los ventiladores. <p>2.VARIABLE DEPENDIENTE Minado del cuerpo mineralizado Melissa. <u>Indicadores</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Galerías principales de ventilación. ▪ Cantidad de trabajadores y 	<p>1. TIPO DE INVESTIGACION Aplicada</p> <p>2. NIVEL DE INVESTIGACION Descriptivo y explicativa.</p> <p>3. DISEÑO No experimental: descriptivo, longitudinal y documental</p> <p>4. POBLACION La población está constituida por el sistema de ventilación principal, secundaria y auxiliar de las labores de la Unidad Minera Catalina Huanca.</p> <p>5. MUESTRA Proyecto de ventilación del cuerpo mineralizada Melissa.</p> <p>6. TECNICAS ▪ Procesamiento de datos</p>

			<p>maquinarias para el minado del cuerpo Melissa.</p>	<ul style="list-style-type: none">▪ Presentación de datos.▪ Simulación con software Ventsim Design 5.1.▪ Diseño de circuitos de ventilación y caracterización de ventiladores. <p>8. INSTRUMENTOS</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Equipo Multifunción TESTO 480.▪ O1 Medidor de gases, registro de oxígeno O₂, monóxido de carbono CO y monóxido de nitrógeno NO, marca Dräger®.▪ Distanciómetro.
--	--	--	---	---