

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Análisis técnico-económico y propuesta de optimización del circuito de ventilación de la mina subterránea Playitas en la parroquia Muluncay, cantón Zaruma.

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

#### **Ingeniero de Minas**

Presentado por:

José Xavier Ponce García

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres y abuelos que desde la tierra siempre me han apoyado y velado porque cumpla las metas en el transcurso de la vida, ellos son las personas más influyentes durante esta formación académica. Gracias por estar siempre; este nuevo logro alcanzado también es de ustedes.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, a mis padres Laura García y Pedro Ponce por ser el motor fundamental de mi vida e inspiración en cuanto a superación, a mis hermanos y tíos, en especial a Agustín y Bélgica que me acogieron en su casa desde el inicio de la carrera universitaria, al resto de la familia, a María José Jiménez y su familia que fueron mi apoyo moral, a mis amigos y compañeros de carrera que estaban presentes siempre que decaía en este largo camino (Fabian, Gabriel, Ayllin, Stephany, Rimer, Guapi, Marwin, Alex, Hilary, Denisse, Marny, Lady). Agradecer a mis queridos y estimados profesores por contribuir en mi desarrollo profesional. Al MSc. René Ayala y MSc. Wilmer Vásquez por toda su paciencia y apoyo durante este proyecto de titulación, a la PhD. Esmilka Guerra y a la PhD. Samantha Jiménez por guiarme y aconsejarme durante toda la carrera universitaria. Finalmente, a la empresa ECOPARKMINING, por abrirme las puertas para desarrollar este proyecto integrador en sus instalaciones.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *José Xavier Ponce García* doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



JOSÉ XAVIER PONCE GARCÍA

# EVALUADORES

---

**Nombre del Profesor**

PhD. Samantha Jiménez Oyola

---

**Nombre del Profesor Tutor**

MSc. René Ayala Lomas

---

**Nombre del Profesor Tutor**

MSc. Wilmer Vásquez Granda

## RESUMEN

La ventilación subterránea para pequeña minería es un pilar fundamental para el desarrollo de las actividades diarias de producción, creando una atmósfera de trabajo seguro en el interior de la mina, evacuando los gases contaminantes presente en ella como (CO, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y CH<sub>4</sub>) que superan los límites permisibles, eliminando el material particulado PM10 y abasteciendo de aire limpio a todo el ambiente laboral operativo. El objetivo de este estudio fue proponer un circuito de ventilación para la mina Playitas, aplicando criterios técnicos y económicos, de cara al cumplimiento de la normativa con relación a la calidad de aire en el interior de la mina. Para este propósito, se determinaron 6 zonas de estudio dentro de la concesión minera, estas se basaban en áreas que se encontraban operativas. Se utilizó un detector de multigases para conocer la concentración de oxígeno y la emanación de gases dentro de mina se encontraba dentro de los límites permisibles. De la misma forma, se empleó un anemómetro digital para conocer la velocidad del aire en las áreas de estudio y poder obtener el caudal experimental y por último se utilizó una malla con abertura de 10 micras para conocer la cantidad de material particulado presente en los frentes de trabajo. Como resultado se obtuvo que en las operaciones de producción durante el encendido y después de la voladura es donde los valores de los gases sobrepasan los límites permisibles, sin contar el CH<sub>4</sub>. El material particulado PM10 en las zonas del frente de avance y chimenea 5 de producción de la veta Cristina, no cumple la normativa empleada. Por otro lado, se obtuvo un caudal teórico de 844 m<sup>3</sup>/min, esto se lo determinó en función de explosivo utilizado, cantidad de trabajadores y niveles mayores a 24 °C. El caudal promedio medido que se genera por la ventilación natural fue de 460 m<sup>3</sup>/min que junto a la cobertura del ventilador la mina cuenta con un flujo de aire de 472.59 m<sup>3</sup>/min, este valor representa el 55.99% del 100% total del aire requerido para un ambiente seguro dentro de las actividades minera. Como solución al problema de ventilación de la mina Playitas, en este proyecto se desarrolló 3 propuestas de ventiladores para que se complete el otro 43.01% restante de circuito total de la concesión y sus caudales deben de estar en el margen entre 483 y 492 m<sup>3</sup>/min respectivamente.

**Palabras claves:** Caudales de aire, límites permisibles, circuito de ventilación, material particulado.

## ***ABSTRACT***

Underground ventilation for small-scale mining is a fundamental pillar for the development of daily production activities, creating a safe working atmosphere inside the mine, evacuating the polluting gases present in it such as CO, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S and CH<sub>4</sub> that exceed the permissible limits, eliminating particulate matter (PM10) and supplying clean air to the entire operating work environment. The objective of this study was to propose a ventilation circuit for the “Playitas” mine, applying technical and economic criteria, to comply with the regulations regarding air quality inside the mine. For this purpose, certain study zones were determined within the mining concession, which were areas that were operational. A multi-gas detector was used to know the concentration of oxygen and the emission of gases within the mine was within the permissible limits. Likewise, a digital anemometer was used to know the air speed in the study areas and to obtain the experimental flow rate and finally a mesh with an opening of 10 microns was used to know the amount of particulate matter present in the work fronts. As a result, it was obtained that in the production operations during ignition and after blasting is where the values of the gases exceed the permissible limits, not counting CH<sub>4</sub>. The PM10 particulate matter in the areas of the forward front and chimney 5 of production of the Cristina vein does not comply with the regulations used. Furthermore, a theoretical flow of 844 m<sup>3</sup>/min was obtained, this was determined according to the explosive used, number of workers and levels greater than 24°C. The average measured flow generated by natural ventilation was 460 m<sup>3</sup>/min which, along with the fan coverage, allows the mine to have an air flow of 472.59 m<sup>3</sup>/min; this value represents 55.99% of the total 100% of the air required for a safe environment within mining activities. As a solution to the ventilation problem of the “Playitas” mine, in this project 3 fan proposals were developed to complete the remaining 43.01% of the total circuit of the concession and its flows must be in the range between 483 and 492 m<sup>3</sup>/min, respectively.

**Key words:** Air flows, permissible limits, ventilation circuit, particulate matter.

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN .....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	IX
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE PLANOS .....	VIII
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    Introducción .....	1
1.1    Descripción del problema .....	2
1.2    Justificación del problema .....	2
1.3    Objetivos .....	3
1.3.1    Objetivo General .....	3
1.3.2    Objetivos Específicos.....	3
1.4    Marco teórico.....	3
1.4.1    La ventilación en minas subterránea.....	3
1.4.2    Tipos de ventilación en minas subterráneas.....	4
1.4.3    Zona de estudio .....	13
1.4.4    Geología .....	14
1.4.5    Descripción de los trabajos de la concesión minera “PLAYITAS”.....	15
1.4.6    Marco legal .....	19
CAPÍTULO 2 .....	21
2.    Metodología.....	21

2.1	Técnicas de investigación.....	22
2.2	Metodología de levantamiento de información.....	22
2.2.1	Fase 1.....	22
2.2.2	Fase 2.....	23
2.2.3	Mantenimiento .....	25
2.3	Fórmulas empleadas en el estudio .....	25
2.3.1	Requerimiento Caudal de aire total ( $Q_{T0}$ ) .....	25
	Cobertura de los ventiladores.....	28
	Selección de protección respiratorio.....	28
CAPÍTULO 3 .....		29
3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	29
3.1	Mediciones realizadas antes de implementar el circuito de ventilación.....	29
3.1.1	Mediciones de gases presentes en la mina Playitas .....	29
3.1.1	Medición de material particulado presente en la mina Playitas .....	38
3.1.2	Medición de caudales de aire presentes en la mina Playitas.....	39
3.2	Cálculos teóricos .....	42
3.2.1	Protección respiratoria .....	42
3.2.2	Caudal necesario .....	42
3.2.3	Cobertura de ventilador.....	44
3.3	Propuesta del circuito de ventilación.....	46
3.3.1	Determinación de ventiladores axiales para la propuesta del circuito de ventilación .....	47
3.3.2	Simulaciones software VentSim Design Premium MultiFlux con licencia completa .....	50
CAPÍTULO 4 .....		55
4.	Conclusiones Y RECOMENDACIONES .....	55

4.1	Conclusiones .....	55
4.2	Recomendaciones.....	56
	BIBLIOGRAFÍA .....	57
	ANEXOS .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistemas de ventilación en minas subterráneas (Ministerio de minería del gobierno de Chile, 2013). .....	6
Figura 1.2 Detector multigases Altair 5X.....	12
Figura 1.3 Anemómetro digital GM816 .....	13
Figura 1.4 Ubicación de las concesiones de la mina “PLAYITAS” .....	14
Figura 1.5 Situación de la mina Playitas (galería y chimeneas) .....	16
Figura 2.1 Flujograma de metodología .....	21
Figura 3.1. Niveles de O <sub>2</sub> promedio medidos.....	34
Figura 3.2. Niveles de CO promedio medidos .....	35
Figura 3.3. Niveles de NO <sub>2</sub> promedio medidos .....	36
Figura 3.4. Niveles de H <sub>2</sub> S promedio medidos .....	37
Figura 3.5. Niveles de CH <sub>4</sub> promedio medidos .....	38
Figura 3.6 Caudales medidos en zonas específicas dentro de mina .....	41
Figura 3.7 Simulación con el ventilador Tubo axial AVR-710.....	51
Figura 3.8 Simulación con el ventilador axial VA70F-10 .....	52
Figura 3.9 Simulación con el ventilador axial Helicoidal axial tubular HTP .....	53
Figura 3.10 Simulación de dos ventiladores combinados (pequeño y grande) .....	54
Figura 0.1 Factor de protección asignados según normativa europea.....	63
Figura 0.2 Simulación ventiladores propuesta .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Límites permisibles de gases (Ministerio de Minas y Energía, 2015) .....	9
Tabla 1.2 Caudal requerido para equipos y maquinaria según la altitud de m.s.n.m. (Seguridad Minera, 2017). .....	11
Tabla 1.3 Consumo de explosivo por frentes de trabajo (Mina Playitas, 2022). .....	17
Tabla 3.1 Coordenadas de la toma de datos en WGS 84 .....	29
Tabla 3.2 Gases medidos antes de las operaciones.....	30
Tabla 3.3. Gases medidos durante las operaciones .....	31
Tabla 3.4. Gases medidos durante el encendido de la voladura.....	31
Tabla 3.5. Gases medidos después de la voladura. ....	32
Tabla 3.6 Resumen comparativo de los gases en las zonas de toma de datos. ....	32
Tabla 3.7 Material particulado medido dentro de mina .....	39
Tabla 3.8 Caudales medidos en el trabajo de campo .....	40
Tabla 3.9 Cantidad de trabajadores por jornada.....	42
Tabla 3.10 Cantidad de niveles con temperatura mayor a 24 °C .....	43
Tabla 3.11 Cantidad de explosivo empleado en voladuras .....	43
Tabla 3.12 Datos característicos del ventilador 5CX-4500.....	45
Tabla 3.13 Requerimiento de aire según la variación de aire limpio y la altitud .....	46
Tabla 3.15 Análisis comparativo entre los tres ventiladores propuestos .....	48
Tabla 0.1 Factor de producción relacionado al consumo de madera (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2017) .....	62
Tabla 0.2 Velocidad mínima requerida en labores subterráneas (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2017). .....	62
Tabla 0.3 Normativa de límites permisibles según OSHA y ACGIH.....	62
Tabla 0.4 Límites permisibles para Muestreo Personal de polvo .....	62

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Ventilación actual mina Playitas .....	61
--	----

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
TWA	Promedio ponderado en el tiempo
STEL	Límite de exposición a corto plazo
PEL	Límite de exposición permisible
VLP	Valores de límites permisibles
OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional
ACGIH	Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales
MP	Material Particulado
RSSAM	Reglamento de Seguridad y Salud en el Ámbito Minero.
MSO	Mutiple System Operator (Operador de Sistema Múltiple)

## SIMBOLOGÍA

Q	Caudal.
CFM	Caudal (pies cúbicos por minuto).
Tn	Tonelada.
HP	Potencia (caballos de fuerza).
Pa	Presión
C	Celsius.
μ	Micro.
g	Gramo.
m	Metro.
km	Kilómetro.
kg	Kilogramo.
ppm	Parte por millón.
dB	Decibeles.
Cu	Cobre.
Au	Oro.
CO	Monóxido de carbono.
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrógeno.
H <sub>2</sub> S	Ácido Sulphídrico.
CH <sub>4</sub>	Metano.
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono.
O <sub>2</sub>	Oxígeno.
min	Minutos.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La minería es la ciencia que emplea técnicas relacionadas a la extracción de minerales. Es el eje fundamental del desarrollo nacional e internacional, puesto que suministra minerales para un amplio campo de aplicaciones en tecnología, electromovilidad, entre otras. La industria minera es una gran generadora de empleos en el mundo y capta considerables montos de inversión, por lo que se la considera una de las primordiales creadoras de divisas y aporta al crecimiento local y regional (Banco Central del Ecuador , 2022).

En Ecuador, una de las provincias mineras por tradición es la provincia de El Oro, en donde la mayoría de sus cantones son importantes fuentes mineras de la región sur y el país; uno de los cantones que desde tiempos incaicos viene siendo explotado por la presencia relevante de minerales metálicos con alta riqueza, principalmente oro, es el cantón Zaruma. La productividad minera en esta zona llegó a ser catalogada como la más rica a escala nacional en pequeña minería. Los sitios de labores mineras en la provincia de El Oro se han ido desplegando hacia la parte occidental del cantón Zaruma, especialmente a las parroquias de Muluncay, Huertas, Arcapamba y Ayapamba (Jaramillo, 2016).

La explotación minera subterránea se define como la extracción de recursos minerales que se realiza bajo la superficie de la tierra. Este tipo de explotación se la emplean cuando la extracción a cielo abierto no se puede llevar a cabo por temas sociales, ambientales y económicos. Para el minado subterráneo es de gran importancia la construcción de túneles, piques y chimeneas (Paz Palacios, 2017).

La ventilación es uno de los elementos fundamentales en las operaciones mineras subterráneas. El propósito de la ventilación es abastecer de caudales de aire limpio en proporciones y calidad idóneas para minimizar la presencia de contaminantes como los gases y material particulado, que se generan de los procesos de voladura, o debido al uso de equipos y maquinarias.

El proyecto integrador Análisis técnico-económico y propuesta de optimización del circuito de ventilación de la mina subterránea Playitas, se sitúa en la parroquia Muluncay, y corresponde a la empresa ECOPARKMINING S.A., que se encuentra ubicada en el Distrito Minero Zaruma – Portovelo (El Oro), considerado como uno de los yacimientos auríferos y polimetálicos más importantes del país en pequeña minería. Este proyecto incluye el análisis del estado actual del sistema de ventilación de la mina Playitas y presenta una propuesta de optimización del sistema de ventilación, de cara a garantizar condiciones óptimas de operación minera y condiciones seguras para sus trabajadores.

### **1.1 Descripción del problema**

Las operaciones mineras subterráneas generan gases como el nitrógeno, anhídrido carbónico, monóxido de carbono, gases nitrosos, anhídrido sulfuroso, gas sulfhídrico, metano, además de material particulado. El gaseamiento provocado por los gases de voladura y motores de combustión interna es el factor crítico que se debe controlar a través de un sistema de ventilación natural, mecanizado (principal o secundario) o mixto, mediante el cual se hace circular el aire necesario para asegurar una atmósfera respirable y segura para el desarrollo de los trabajos.

En la actualidad, la mina “Playitas”, se encuentra realizando sus operaciones de producción dentro de una atmósfera con ventilación dada por pulmones que suministran de aire a todo el interior de la mina, especialmente a las vetas X, Cristina y Jane. Sin embargo, la empresa ECOPARKMINING S.A., desde que inició sus actividades, no ha realizado un control riguroso de calidad y flujo de aire y de la ventilación, de esta manera no se conoce si el ambiente de trabajo es seguro para los trabajadores y para el rendimiento de los equipos.

### **1.2 Justificación del problema**

Este proyecto ofrece a la empresa ECOPARKMINING S.A., información sobre la situación actual del sistema de ventilación de la mina Playitas. Además, una propuesta de optimización del sistema de ventilación actual para determinar si los flujos de aire son

los adecuados para las operaciones de producción minera, considerando un análisis técnico y económico de las fases de explotación interior mina, en función del número de trabajadores, equipos y maquinaria, tipo de explosivos utilizados y número de frentes de trabajo, para así garantizar la seguridad, salud de los trabajadores y la correcta operación de las actividades extractivas.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Proponer un circuito de ventilación para la mina Playitas, aplicando criterios técnicos y económicos, de cara al cumplimiento de la normativa con relación a la calidad de aire en el interior de la mina.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- a) Diagnosticar la situación actual del sistema de ventilación, considerando la cantidad y tipo de maquinaria minera, programas de mantenimiento, tipos de explosivos utilizados, frentes de trabajo y personal que labora en el interior mina.
- b) Evaluar la cantidad y flujo de aire con base en los estándares dispuestos en la normativa aplicable.
- c) Proponer un sistema de ventilación que permita el cumplimiento de los estándares de calidad dentro de un ambiente seguro de labores mineras subterráneas.

### **1.4 Marco teórico**

#### **1.4.1 La ventilación en minas subterránea**

Dentro del campo de la minería es de gran importancia emplear todos los sistemas y criterios técnicos de ventilación; ya que, para todos los trabajadores, un ambiente y aire fresco; determina una calidad de alta seguridad en los procedimientos subterráneos.

La ventilación minera es uno de los factores más influyente en actividades que se realizan bajo tierra, ya que, garantiza altos rendimientos en las operaciones que desarrolla esta industria en labores subterráneas. Se atribuye el nombre de “atmosfera” o “aire” de mina a la interacción entre gases presentes en las labores de esta actividad técnica. Los términos antes mencionados son de gran importancia, para mantener un control de calidad en una mina subterránea; la salud, seguridad del personal y la productividad de la mina son una de las grandes influencias que presentan estos factores si no se los controlan correctamente (Herbert, 2019).

La ventilación subterránea para pequeña minería presenta tipos de sistemas, ya sea ventilación generada por el aire natural que es la energía más económica y se presenta en gran proporción en la naturaleza, dentro de este circuito se deben considerar factores que influyen al ambiente de trabajo, ya que, cambia con respecto a las estaciones del año. Otro tipo de ventilación es la mecánica, de ella se derivan dos sistemas de ventilación que son: ventilación mecánica de inyección o soplante, el primero es un circuito que inyecta de aire fresco a los frentes de labores y tiene retroceso por las galerías, mientras que el segundo succiona el aire viciado que se encuentran en los frentes de trabajo sacándolo de la mina hacia la superficie (Herbert, 2019).

## **1.4.2 Tipos de ventilación en minas subterráneas**

### ***1.4.2.1 Ventilación natural***

Este sistema de ventilación como se ilustra en la Figura 1.1 sección a, se da sin la necesidad de usar ningún tipo de equipo mecánico o eléctrico. Se utiliza en faenas mineras subterráneas, especialmente en las que se ubican en zonas montañosas y se consiguen por desigualdad de cotas. Esto quiere decir que, la ventilación natural posee una diferencia de temperaturas atmosféricas dadas por el nivel del mar; por consiguiente, la entrada de aire natural a la mina es posible desde la bocamina que se encuentre en una altitud más baja y la salida se da por la bocamina de altitud más alta. Dentro de mina con una ventilación natural, el aire no tendrá una velocidad menor a los 20 m/min (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

### **1.4.2.2 Ventilación mecánica**

Esta ventilación como se ilustra en la Figura 1.1 sección b, se emplea en mayor magnitud en faenas subterráneas que exceden la utilización de una ventilación natural. A este tipo de ventilación también se la conoce como auxiliar o secundaria. El mecanismo de estos ventiladores se da por un sistema de alimentación de aire fresco y desocupe del aire viciado que se suministra al circuito de ventilación general. Para la ventilación de frentes cubiertos o ciegos se emplean ventiladores de capacidad baja y son suministrados por mangas de ventilación (Gallardo, 2008).

Los circuitos de ventilación artificial o auxiliar que pueden desarrollarse en el avance de galerías horizontales se presentan en la Figura 1.1 sección c, empleando ventiladores auxiliares y ductos son:

- a) **Sistema impelente:** El aire es empujado en el interior del ducto y evacua por la galería en desarrollo ya viciado.
- b) **Sistema aspirante:** El aire fresco accede al frente de labores por la galería y el viciado es sustraído por el ducto.
- c) **Sistema aspirante-impelente:** Utiliza dos tipos de ductos, el primero para succionar el aire y el segundo para introducir aire limpio a la frente en avance. Una de las desventajas de este sistema es el gran costo de montaje y de mantenimiento.

La ventilación mecánica para pequeña minería se considera como el sistema principal de ventilación para la mina, por ser una industria con un régimen de procesamiento mineral con toneladas menores a 300 Tn/día. Se deben emplear ductos de ambientación para sitios que se encuentren alejados de la corriente y que la ventilación de ciertas áreas de trabajo se insuficiente. En gran parte de las minas subterráneas de producciones pequeña de mineral catalogada como pequeña minería, se utiliza en gran parte el aire comprimido generado por compresores para ventilar las zonas de trabajo, tal y como se muestra en la Figura 1.1 sección d (Ministerio de minería del gobierno de Chile, 2013).

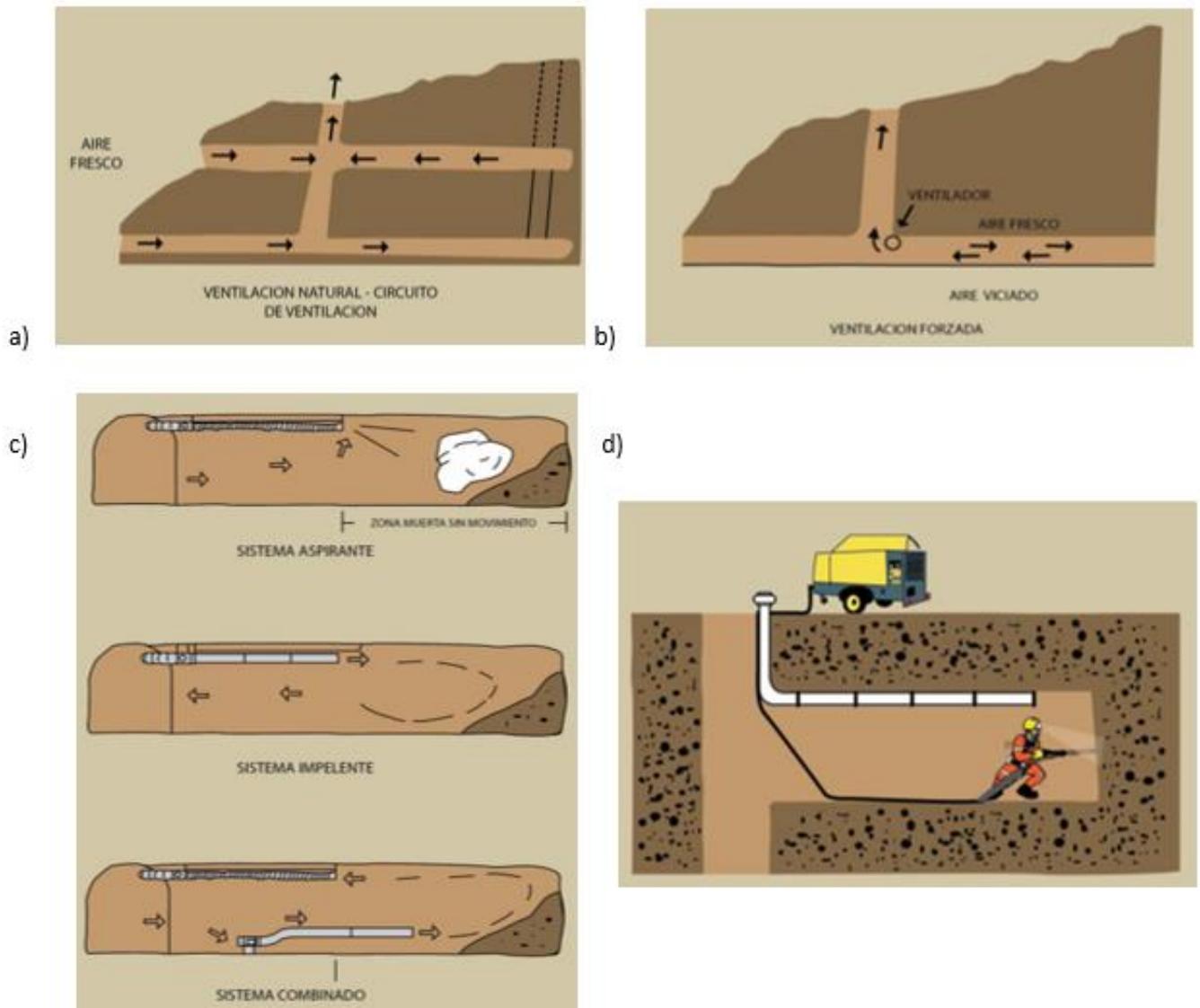


Figura 1.1 Sistemas de ventilación en minas subterráneas (Ministerio de minería del gobierno de Chile, 2013).

### 1.4.2.3 Agentes físicos dentro de mina

#### a) Aire de mina

El aire de mina se lo determina en relación con el aire atmosférico, que ingresa a la mina y dentro de ella puede sufrir algunas alteraciones, siendo estas de mayor o menor riesgo; si la variación de este es en menor proporción, se lo considera aire fresco. Por otro lado, cuando estas alteraciones están dadas por la excitación entre gases y vapores; por lo

general, a las partículas de polvo en el ambiente en suspensión se les atribuye el nombre de aire viciado (Lloclla, 2020).

El aire seco en condiciones normales se encuentra estructurado por: N<sub>2</sub> al 78%, O<sub>2</sub> al 21%, CO<sub>2</sub> al 0.20%, argón 0.93% y otros gases al 0.01%. De las impurezas que pueden combinarse con el aire son provocada por efecto de voladuras, gases de la formación geológica y material particulado provocado por las operaciones (Agencia Nacional de Minería de Colombia, 2017)

### ***b) Polvos en mina***

Se define como polvo a los diminutos fragmentos sólidos que se encuentran dispersas y en suspensión en la atmosfera. A las partículas con tamaños muy pequeños se les atribuye el nombre de polvo respirable, ya que pueden entrar y alojarse en los alvéolos pulmonares sin ningún tipo de problemas. Las personas que están expuestas a este agente físico son: las de extracción de minerales, en el transporte de mina a planta de producción, en su procesamiento, etc. (Díaz, 2009).

En minería subterránea, en toda su mecanización se deben emplear medidas técnicas para disminuir gran parte de este agente físico como el uso de agua y sistemas de aspiración en cada área de producción.

Playitas por ser una mina que no usa equipos de combustión no se presentará material particulado por diésel, pero sí estará presente partículas de polvo generado por la perforación y la voladura; para ello se estudian el tamaño de las partículas con la finalidad de determinar los límites permisibles de inhalación por persona y se clasifican en (Organización Mundial de la Salud, 2005):

- I. **MP10.-** es la media aritmética de la concentración de partículas menores a 10 micrones que en un año no puede ser mayor a 20 µg/m<sup>3</sup> y en 24 horas no puede sobrepasar los 50 µg/m<sup>3</sup>.

- II. **MP2,5.-** es la media aritmética de la concentración de partículas menores a 2,5 micrones que en un año no puede ser mayor a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y en 24 horas no puede sobrepasar los  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### ***c) Temperatura***

Los cambios térmicos (calor o frío) se diferencian de los otros tipos de contaminantes por el tipo de consecuencia y el tiempo en que se pone en manifiesto en las operaciones mineras y los trabajadores. En las faenas mineras subterráneas, la roca es la principal fuente de calor; ya que su temperatura incrementa en un  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  por cada 100 m de profundidad. Otros de los factores del incremento de la temperatura en interior de la mina es la operabilidad de los equipos a combustión diésel (Díaz, 2009).

Los riesgos que representan los altos niveles de temperatura en ambientes y trabajos subterráneos, son muy importantes considerar ya que esto pueden provocar grandes niveles de estrés que con ello provoca un aumento de los accidentes, generaciones de incendios, oxidación y disminución de la vida útil de los equipos y producciones bajas de mineral (Castro, Delgado, & J.J., 2014)

#### ***1.4.2.4 Agentes químicos dentro de mina***

Los agentes químicos son aquellos que su constitución o estructura va dada por materia inerte que se halla en modo de gasea, vapores, líquidos, combinaciones y humos. La ruta de entrada principal de los contaminantes al organismo más importante del cuerpo humano se da por medio de las vías respiratorias y la segunda se da por medio de la absorción de la piel. Los gases que por lo general se encuentran en actividades mineras subterráneas son: monóxido de carbono (CO) que lo originan los equipos y maquinaria que se accionan por combustión a diésel, dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) originados por acción de las voladuras, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) e hidrógeno (H) son otros de los gases que más se frecuentan en la mayor parte de las minas subterráneas en el Ecuador (Díaz, 2009).

Dentro de la mina Playitas, los gases más abundantes son el CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>; la gran parte de estos agentes químicos se dan por efectos de la voladura y material particulado del aceite de las barrenadoras. Por ser una mina que utiliza equipos neumáticos y energía eléctrica no tiene problemas con la emanación del CO<sub>2</sub> provocados por la combustión de hidrocarburo (diésel).

#### 1.4.2.5 Límites permisibles de los gases

Según el Ministerio de minas y energía del Perú en su decreto 1886, existen límites permisibles para poder laborar en una ambiente limpio y seguro, que no sea contraproducente para la salud en un lapso de carga laboral (8 horas de trabajo). Para ello, en el ambiente de cualquier actividad minera, los Valores Límites Permisibles (VLP) para los gases contaminantes detallados son:

**Tabla 1.1 Límites permisibles de gases (Ministerio de Minas y Energía, 2015)**

<b>GASES</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>ALARMA BAJA</b>	<b>ALARMA ALTA</b>	<b>TLV-TWA</b>	<b>TLV-STEL</b>
Monóxido de Carbono	CO	25 ppm		25	-
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0,5% Vol.	1 % Vol.	5000 ppm	30000 ppm
Ácido Sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	1 ppm	5 ppm	1 ppm	5 ppm
Anhídrido Sulfuroso	SO <sub>2</sub>	-	-	-	0,25
Dióxido de Nitrógeno	NO <sub>2</sub>	3 ppm	6 ppm	1 ppm	5 ppm
Óxido Nítrico	NO	-	-	25 ppm	-
Metano	CH <sub>4</sub>	0,5% Vol.	1 % Vol.	-	-

Los valores de TLV-TWA detallados en la tabla 1.1 corresponden al Valor Límite Permissible de Tiempo promedio ponderado para una faena de 8 horas diarias y cuarenta horas a la semana de trabajo. En caso de que las jornadas laborables excedan los

promedios ponderados establecidos, se emplea el modelo matemático desarrollado por Brief y Scala; las ecuaciones que se emplean son:

Para el cómputo diario se emplea la ecuación (1.1):

$$Fc = \left(\frac{8}{hd}\right) * [(24 - hd)/16] \quad (1.1)$$

Para el cómputo semanal se emplea la ecuación (1.2):

$$Fc = \left(\frac{40}{hs}\right) * [(168 - hd)/128] \quad (1.2)$$

Donde:

Fc= Factor de corrección;

hd= Horas/día de trabajo;

hs= Horas/semana de trabajo.

Dentro de la tabla 1.1, también se detallan los valores del TVL-STEL; que pertenecen al Valor Límite Permisible para duraciones de exposición cortas, el cual no debe sobrepasar 15 minutos; debe haber como mínimo un lapso de 60 minutos entre dos exposiciones posteriores a este mismo nivel, y menos de 4 veces en la faena laboral (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2017).

Cabe recalcar que el Ecuador no cuenta con una norma específica de ventilación y límites permisibles de los gases en su reglamento de RSSAM del 2020, puesto a esto la bibliografía utilizada son de normativa peruana y chilena enfocada en la pequeña minería.

#### **1.4.2.6 Caudal de aire necesario en una operación minera**

“La cantidad de aire requerido se refiere al caudal de aire limpio necesario para satisfacer las demandas globales de la mina subterránea. Los principales factores que afectan la

demanda de aire son: Personal, equipos diésel, gases y material particulado de voladuras y temperatura efectiva” (MSO Industrial S.A.S., 2012).

Es de gran importancia saber que no es garantía confiable introducir aire total a la mina subterránea, ya que los caudales de aire deben asegurar un ambiente limpio y debe llegar a todos los niveles y frentes de trabajo.

Para labores subterráneas el caudal requerido por persona es de 6 m<sup>3</sup>/min por seguridad y salud. Sin embargo, se tienen ciertas exigencias con respecto al caudal de aire necesario en el área de trabajo para equipos y maquinaria. Estas imposiciones se dan cuando las minas se encuentran en las diferentes altitudes sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y están detalladas en la tabla 1.2.

**Tabla 1.2 Caudal requerido para equipos y maquinaria según la altitud de m.s.n.m. (Seguridad Minera, 2017).**

***Necesidad de Aire a Diferentes Alturas***

De 1500 m.s.n.m.	3 m <sup>3</sup> /min
De 1500 m.s.n.m. a 3000 m.s.n.m.	4 m <sup>3</sup> /min
De 3000 m.s.n.m. a 4000 m.s.n.m.	5 m <sup>3</sup> /min
De 4000 m.s.n.m.	6 m <sup>3</sup> /min

**1.4.2.7 Equipos de medición de gases, velocidad del aire y temperatura del ambiente.**

**a) Detector de gas portátil**

El detector de gas portátil es un aparato creado para establecer la concentración de gases volátiles, tóxicos y la ganancia o pérdida de oxígeno. Estos proveen un control visual y sonoro en caso de sobrepasarse los límites de concentración aprobados para los diferentes gases que se pueden contemplar en una sección de trabajo, cuyo nivel está determinado según normativas internacionales o por el manipulador del equipo. En mayor parte de las operaciones mineras subterráneas, se usan detectores de monóxido

de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y oxígeno (O<sub>2</sub>) (Rumbo Minero , 2020).



**Figura 1.2 Detector multigases Altair 5X**

***b) Medidores de velocidad de aire y temperatura***

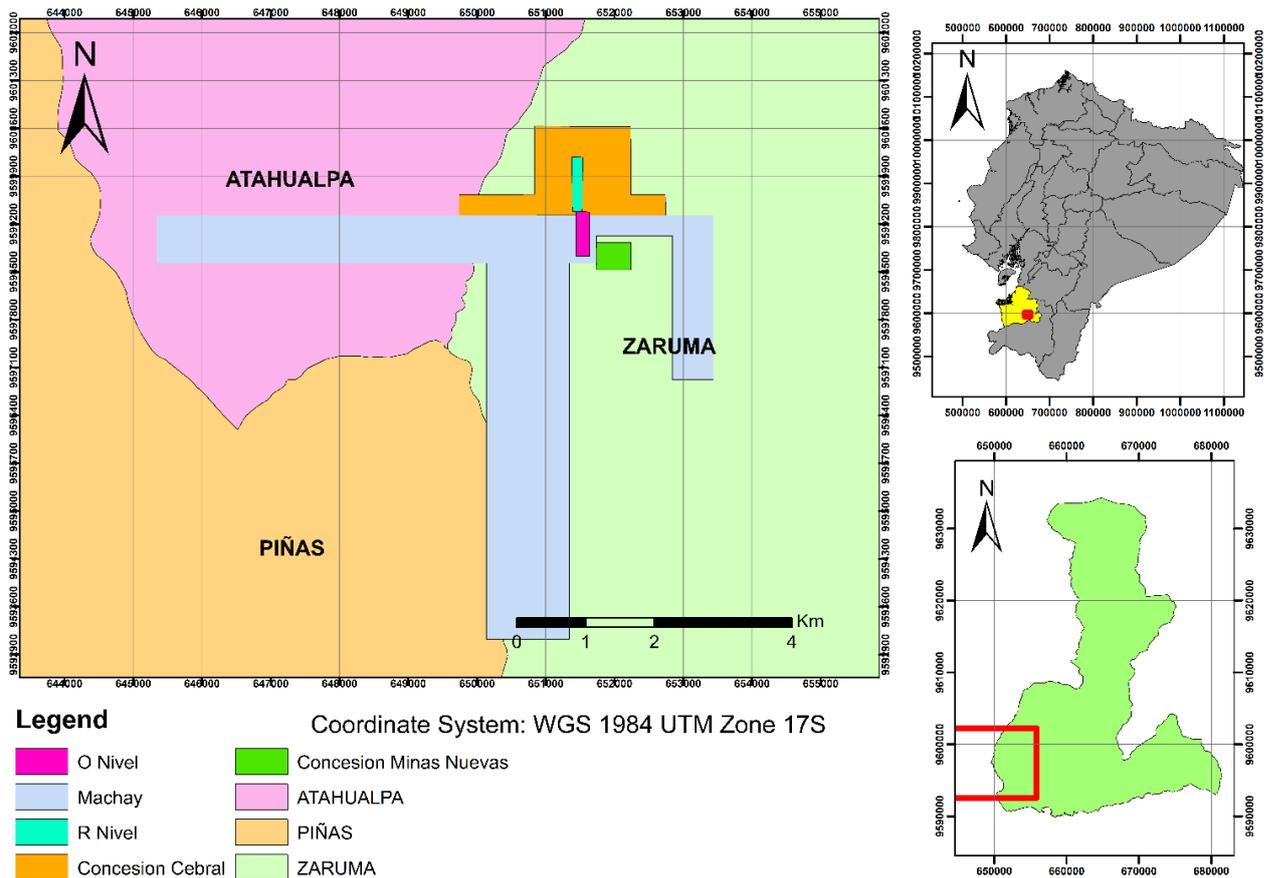
Un anemómetro es un equipo empleado para medir la velocidad del viento, aire y la temperatura en el lugar de estudio, estas herramientas determinan la velocidad instantánea del aire, para la toma de datos desde este equipo se recomienda tomar el valor medio de varias medidas durante un intervalo de tiempo, ya que las velocidades de viento y aire no son exactas. Este equipo emplea principios que tienen que ver con la escala de Beaufort (Aguirre Pineda, Chuquiej García, Granados, & Cifuentes, 2011).



**Figura 1.3 Anemómetro digital GM816**

### **1.4.3 Zona de estudio**

La mina Playitas realiza sus operaciones mineras dentro de las concesiones: Cebal, Minas Nuevas y Machay. El frente de trabajo principal se localiza a 700 m desde el centro poblado del recinto Playitas en dirección al río Calera por la vía hacia el cantón Atahualpa (Paccha), en la parroquia Muluncay, cantón Zaruma, provincia de El Oro. La ubicación referenciada se ilustra en la Figura 1.7.



**Figura 1.4 Ubicación de las concesiones de la mina “PLAYITAS”**

## 1.4.4 Geología

### 1.4.4.1 Geología Regional

Dentro del distrito Zaruma-Portovelo aparecen rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias de edad Palezoica hasta cuaternaria. El rasgo más importante, estructuralmente hablando, la constituye la regional Piñas-Portovelo, con dirección Este-Sureste; esta divide dos unidades geológicas de gran importancia entre el Complejo Metamórfico El Oro y el grupo Saraguro, estableciendo el límite sur del circuito de vetas auríferas (Agencia de Regulación y Control Minero, 2019).

#### **1.4.4.2 Geología Local**

La geología estructural del sitio está constituida por flujos lávicos andesíticos al Noroeste, muestra una formación hornblendicas de texturas porfiríticas y de forma más específica andesitas de formación basáltica; en dirección al sur presenta una textura afanítica con variaciones hidrotermales propilítica; en dirección noroeste del área, afloran tobas dacíticas cloríticas y diques andesíticos basálticos de textura porfirítica (Jarrín Jurado & Arias Verdezoto, 2018).

#### **1.4.5 Descripción de los trabajos de la concesión minera “PLAYITAS”**

La mina Playitas, se encuentra actualmente en etapa de explotación y exploración subterránea de manera simultánea de las vetas X, Cristina y Jane. La mina cuenta con 3 niveles de 30 metros cada uno y un pique de 70 metros de profundidad. El primer nivel son galerías de acceso a los cuerpos mineralizadas, el segundo nivel es de producción de la veta Cristina mediante chimeneas (9 galería, 5 operativas actualmente) y se encuentra 30 metros sobre las galerías de acceso, el tercer nivel es de producción de la veta Jane por medio de chimeneas (8 galería, 2 operativas actualmente) y se encuentra 30 metros sobre las galerías de acceso. Por último, el pique se encuentra 70 metros sobre el tercer nivel o 100 metros sobre las galerías de accesos, este último es de producción sobre la veta Jane. Los avances de producción son de acuerdo a la forma del yacimiento mineralizado, esto se debe a que las vetas tienen direcciones diferentes en la mina. La roca para todas las áreas de labores es denominada como roca con dureza alta no fracturada de 7 en la escala de Mho's y no requiere sostenimiento, salvo los lugares que exponen a diferentes fracturas y tipos de fallas locales geológicas.



**Figura 1.5 Situación de la mina Playitas (galería y chimeneas)**

Dentro de la mina existen 2 jornadas de trabajo respectivamente, la primera comienza desde las 7:00 a.m. hasta las 14:00 p.m. y la segunda empieza desde las 13:00 p.m. hasta las 20:00 p.m. Las actividades que se desarrollan dentro de estas jornadas de detallan a continuación:

#### **a) Perforación**

Para llevar a cabo la operación de perforación se emplean barrenadoras manuales de aire comprimido YT27-YT29. Existen frentes de trabajo y avance en la cota 1094 m que están inmersas en las actividades diarias de la operación. Para la primera jornada se perforan en los niveles altos en la cota 1124 m, bajos (pique) en la cota 904 m de la principal, ya que son las zonas más mineralizadas de la mina, para ello las mallas de perforación de las cuñas son de 2m x 2m, respectivamente. Para dar avance a la veta Cristina, se perfora la galería de acceso con una malla de 3m x 2m respectivamente. Esta etapa de producción de la mina se la realiza en la segunda jornada.

#### **b) Carga de explosivos y detonaciones**

Para las voladuras emplean explosivos como: Emulnor, mecha lenta, fulminante y ANFO encartuchado. La carga de explosivos es irregular entre frentes de trabajo y avance, esto

depende mucho de la sección de trabajo. En la Tabla 1.8 se presenta información sobre el consumo de explosivo por disparos:

**Tabla 1.3 Consumo de explosivo por frentes de trabajo (Mina Playitas, 2022).**

	<b>Emulnor</b>	<b>ANFO encartuchado</b>	<b>Fulminante</b>	<b>Mecha lenta</b>
<b>Frentes de avance</b>	5.5 kg	46 kg	55 unidades	110 m
<b>Frentes de producción</b>	7.5 kg	80.5 kg	75 unidades	150 m

El consumo de explosivo diario por toda la mina varía, ya que algunos días se perforan ciertos frentes de trabajo y otro no, esto depende de la relación con el requerimiento de la planta de procesamiento. Cabe indicar, que esta actividad de producción se la realiza en la segunda jornada trabajo.

### **c) Sistema actual de ventilación**

La ventilación subterránea es muy importante para el buen desarrollo de las operaciones de producción. En la mina Playitas, la ventilación se da por dos compresores de aire de marca KAESER e INGERSOLL RAND respectivamente. El primero proporciona un caudal volumétrico de 882 CFM y el segundo 690 CFM; ambos compresores se encuentran junto a la boca mina. El aire se almacena en dos pulmones, uno de 5.70 m<sup>3</sup> y otro de 2.85 m<sup>3</sup> de capacidad, luego se distribuye el aire por una tubería de 8 pulgadas hacia el pulmón principal dentro de mina subterránea, que se encuentra a 1000 metros de la boca mina.

En la veta Cristina, a 267 metros de la galería principal se encuentra otro pulmón de aire de 4.08 m<sup>3</sup> de capacidad y para abastecer a este se lo hace por medio de una tubería de PVC de 6 pulgadas, desde aquí se distribuye aire hacia las 4 chimeneas operativas de producción y frentes de avance por medio de mangueras de 2 pulgadas.

En la veta Jane se encuentran operativos dos pulmones de 4.08 m<sup>3</sup> de capacidad; el primero alimenta de aire al pozo por mangueras de 2 pulgadas y se encuentra a 120 metros de la galería principal, el segundo alimenta a 2 chimeneas operativas de producción y está localizado a 420 metros de la galería principal.

La mina cuenta con un pique de producción ubicado a 100 metros del acceso principal a la veta Jane y la ventilación está generada por un ventilador centrífugo 5CX-4500 con un caudal de 4500 m<sup>3</sup>/hr que se encuentra a 200 metros de la salida del flujo. En el plano 1 se representa la ventilación actual de la mina.

#### **d) Desquinche**

El desquinche es una operación que se la realiza antes de las barrenaciones y se da para retirar el material suelto que se encuentre en la cara expuesta en los frentes de trabajo del macizo rocoso a perforar, para ello emplean barretillas de metro y medio de largo. Esta actividad se la realiza en la segunda jornada laboral después de cada voladura.

#### **e) Carga**

La producción de material que se da dentro de la mina se almacena para la veta Cristina en buzones, que alimentan a los vagones por gravedad y ayuda de 2 paleros. Por otro lado, para la veta Jane el material es sacado del pozo por un winche y almacenado en buzones que alimentan a los vagones por medio de gravedad y ayuda de 2 paleros. Esta actividad se la realiza en la primera jornada laboral.

#### **f) Transporte**

El transporte del material hasta la tolva de almacenamiento se da por medio de locomotoras eléctricas de 80 Tn cada una. Esta maquinaria está conectada a 13 vagones de 3 Tn cada uno. Actualmente, dentro de la mina utilizan 3 locomotoras y 39 vagones

para transportar el mineral de interés y la roca de caja como estéril. Esta actividad se la realiza en la primera jornada laboral.

#### **1.4.6 Marco legal**

En la resolución Nro. ARCERNNR-013/2020, el directorio de la agencia de regulación y control de energía y recurso naturales no renovables ahora Agencia de Regulación y Control de Energía y Minas considera un marco legal en donde menciona y determina los ejes fundamentales para una ventilación en el sector minero ecuatoriano, el titular de derecho minero tiene la obligación de llevar a cabalidad el cumplimiento de las normas legales, para salvaguardar la seguridad e integridad a las personas que laboren dentro de esta industria (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020).

En el capítulo 4 del Reglamento de Seguridad y Salud en el ámbito Minero del Ecuador se presentan todas las normas de ventilación para actividades mineras de forma subterránea y son:

- 1. Art 103.-** La ventilación en minería subterránea; en esta se deberá contar con un circuito de ventilación, de forma natural o forzada, con la finalidad de proporcionar de forma permanente aire fresco y extracción del aire contaminado.
- 2. Art 104.-** Los flujos de aire; estos serán controlados teniendo en cuenta la cantidad de trabajadores expuestos, la duración de sus jornadas, el tipo de equipo de combustión diésel empleados en las actividades, la contaminación natural de la mina.
- 3. Art 105 y Art 106.-**La ventilación natural y mecánica; para la primera se considera apta, exclusivamente si se cumplen los parámetros de flujo antes detallado en sección anterior de este proyecto. Para la segunda ventilación, se la utiliza cuando los parámetros de flujos no cumplen con los antes descritos y para ello se utiliza

ventiladores principales, secundarios o auxiliares; eludiendo la reutilización del aire.

4. **Art 109.**-Monitoreo de gases y material particulado; en este apartado se deberá tener un monitoreo de la calidad del ambiente en los trabajos subterráneos, espacios con áreas reducidas y zonas que no han logrado ser ventiladas o se encuentren abandonadas; la tolerabilidad mínima de oxígeno en estas labores deberá ser de 19.50%.
  
5. **Art 112.**-Prevención para paralización de ventilación; en caso de que ocurra un fallo mecánico o eléctrico en el circuito de ventilación, se debe contar con un sistema de respaldo para que no se pare las operaciones de producción, en caso de que no se cuente con este circuito, las labores deben ser paralizadas de inmediato y debe ser clausurado el área.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En esta sección se describe el procedimiento metodológico para la ejecución del proyecto integrador (Figura 2.1).

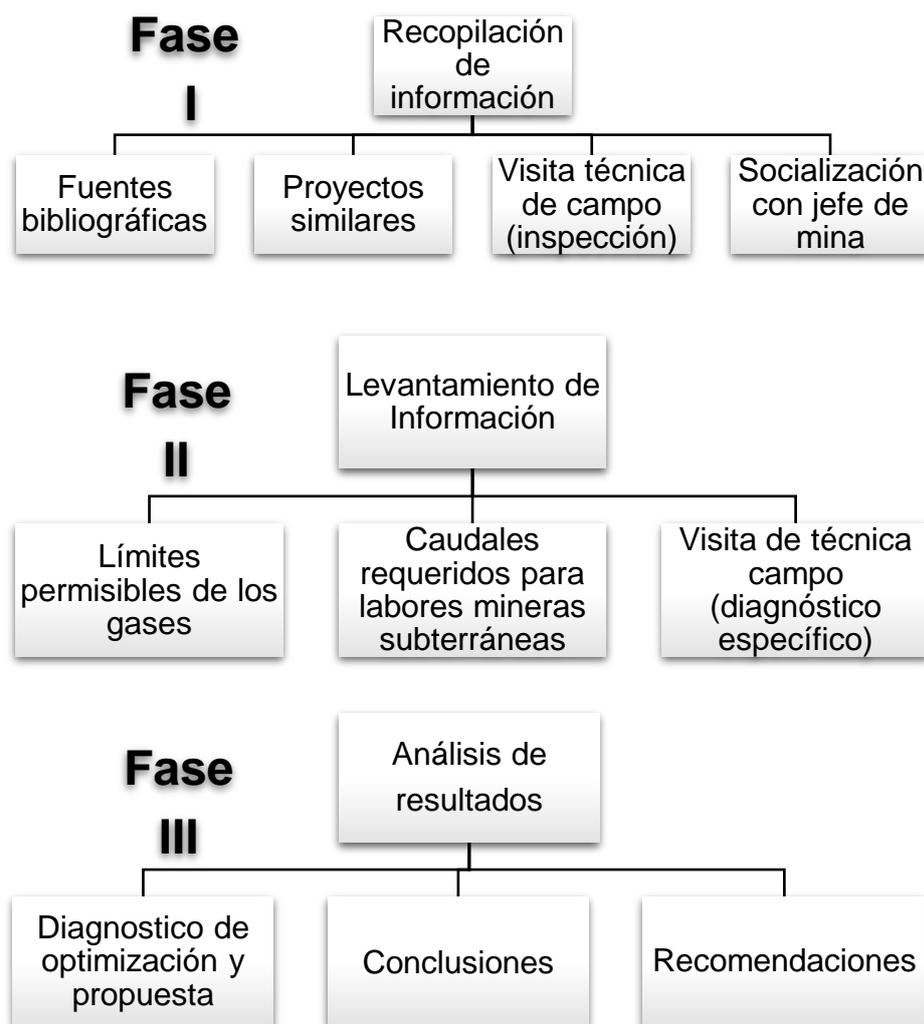


Figura 2.1 Flujograma de metodología

## **2.1 Técnicas de investigación**

Para este proyecto integrador se desarrollaron las técnicas que se detallan a continuación:

1. Recopilación de información interna de la empresa, información de fuentes bibliográficas sobre normativas nacionales e internacionales para ventilación subterránea en pequeña minería.
2. Levantamiento de información mediante la toma de datos en campo, costos unitarios de los procesos de producción y del circuito de ventilación actual. Para luego representarlos en hojas de cálculo y plasmar este sistema dentro del software VentSim utilizado en el proyecto.
3. Análisis de resultados.

## **2.2 Metodología de levantamiento de información**

### **2.2.1 Fase 1**

Para el proyecto integrador, se realizó el levantamiento de información bibliográfica y revisión de proyectos similares anteriores sobre normativa de ventilación subterránea en pequeña minería. El Ecuador no presenta un reglamento específico para este tipo de actividad minera, debido a esto, se utilizó la de países como Perú y Chile.

Se realizó una visita técnica a la mina Playitas, en ella se determinaron las zonas críticas en donde la ventilación es escasa, la forma en que llevan las operaciones, los equipos utilizados y cantidad de personal dentro de las operaciones. De la misma forma, se dialogó con el jefe mina y se conocieron los problemas actuales que la mina presenta y se planteó el esquema de estudio principal y consta de:

- a) Análisis de gases presentes en la operación
- b) Déficit de ventilación en el pique, chimeneas y galería de avances
- c) Calidad del aire natural

## **2.2.2 Fase 2**

### **2.2.2.1 Situación actual de la ventilación**

La ventilación es el eje fundamental para que las actividades mineras subterráneas de pequeña minería se realicen en un ambiente seguro. La empresa actualmente para ello, utiliza aire generado por dos compresores que abastecen el aire a dos pulmones que se encuentran junto a la bocamina, el uno es de marca Kaeser con una capacidad de caudal de aire de 883 CFM y el otro es de marca Ingersoll Rand que genera un caudal de 690 CFM. En el interior de la mina, este flujo de aire se lo utiliza para acción de equipo neumáticos y la ventilación en área con poco flujo de aire y contaminadas por gases y material particulado generados por las actividades de barrenación, voladura y soldadura.

El fluido ingresa a mina por tubería de PVC de 8 pulgadas y se lo almacena en 4 pulmones más de 4.08 m<sup>3</sup>/min cada uno, el primero se encuentra dentro de la galería principal de acceso aproximadamente a 900 m de la boca mina, el segundo está ubicado a 200 m de la galería principal de avance que conecta a la veta Cristina y los 2 últimos se encuentran en la veta Jane a 120 m y 420 m respectivamente de la galería principal.

La mina Playitas utiliza aire generado por dos compresores que abastecen de este fluido a dos pulmones de 5.70 m<sup>3</sup> y 2.85 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno y que se encuentran junto a la bocamina. Cabe recalcar, el objetivo en mayor proporción de estos equipos es abastecer de aire limpio a los equipos de barrenación y a las palas neumáticas, dejando en segundo plano la ventilación respectiva de los frentes de trabajo y avance. El pique es una de las zonas más críticas de la mina, debido a su alta temperatura de 30 °C y las personas que laboran dentro de este, el sitio está ventilado por un ventilador centrífugo 5CX-4500 con un caudal de 4500 m<sup>3</sup>/hr.

La ventilación natural favorece en gran medida a la mina Playitas, el aire que entra dentro de mina se da por corrientes de viento que van en sentido norte-sur, entrando por la boca mina ventilando ciertas áreas de trabajo y saliendo por chimeneas de trabajo que están en actividad y otros abandonados (en total 6 no operativas en la veta Jane y 4 en la

Cristina). Para el proyecto se desarrolló un monitoreo durante 5 días para determinar la eficiencia del sistema de ventilación actual.

En el monitoreo se agregaron los siguientes puntos:

- a) Medición de gases antes, durante y después de las operaciones dentro de la mina.
- b) Temperaturas de trabajo en cada frente.
- c) Número de personas que laboran por frentes.
- d) Caudales de aire según las secciones de trabajo.
- e) Cantidad de material particulado por frentes de trabajo.

### **2.2.2.2 Equipos utilizados**

Para esta sección de la metodología, se recolectó información de equipos que influyen directamente en la ventilación de los frentes y acceso de trabajos en la mina, ya que la mayoría de la maquinaria es eléctrica.

Los equipos utilizados en la mina Playitas y que afectan directamente a la ventilación, son las perforadoras manuales YT27-YT29. Con estas barrenadoras se realiza el avance de las galerías principales y la producción de mineral de interés. Se desarrolló un monitoreo durante 5 días para determinar la efectividad con la que estas operan.

En el monitoreo se agregaron los siguientes puntos:

- a) Tiempos de trabajo de todas las perforadoras manuales dentro de las dos jornadas laborales.
- b) Consumo de aceite dentro de las jornadas laborales por perforadora.

### **2.2.2.3 Explosivos utilizados**

La voladura es uno de los factores más críticos dentro de la mina y que afecta en gran proporción al sistema de ventilación. En la mina Playitas se emplea Emulnor 3000 de 1 pulg, conectada a una mecha lenta y un fulminante que funciona como carga de fondo. Para el desplazamiento de la roca se utiliza ANFO encartuchado de 0.23 kg cada uno.

Se desarrolló un monitoreo durante 5 días para determinar la eficiencia del uso de estos explosivos. Para el monitoreo se consideraron los siguientes puntos:

- a) Cantidad de explosivo utilizado por voladura.
- b) Cantidad de gases emanados por voladura.
- c) Tiempo de evacuación de los gases.

### **2.2.3 Mantenimiento**

Para el mantenimiento se determinó como factor de influencia en el sistema de ventilación las actividades de soldadura de los rieles de transporte en los nuevos frentes de avance de las galerías. Se desarrolló un monitoreo durante 5 días para determinar la generación de gases y material particulado y afectan al sistema de ventilación en interior mina. Para el monitoreo se agregaron los siguientes puntos:

- a) Tiempo de trabajo interior mina.
- b) Tipo de gases emanados y cantidad.

## **2.3 Fórmulas empleadas en el estudio**

### **2.3.1 Requerimiento Caudal de aire total ( $Q_{To}$ )**

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu} \quad (2.1)$$

Donde:

$Q_{To}$  = Caudal de aire total para la operación.

$Q_{T1}$  = La suma de todos los caudales necesarios dados por: a) cantidad de trabajadores ( $Q_{Tr}$ ), b) consumo de madera ( $Q_{Ma}$ ), c) temperatura en labores de trabajo ( $Q_{Te}$ ), d) equipos y maquinaria que funcionen a combustión que sea a base del petróleo ( $Q_{Eq}$ ) y e) consumo de explosivos.

$Q_{Fu}$  = 15% del  $Q_{T1}$ .

**Caudal requerido por la cantidad de trabajadores ( $Q_{Tr}$ )**

$$Q_{Tr} = F \times N \left( \frac{m^3}{min} \right) \quad (2.2)$$

Donde:

$Q_{Tr}$  = Caudal total para "N" trabajadores  $\left( \frac{m^3}{min} \right)$ .

$F$  = Caudal mínimo de aire requerido por persona  $\left( \frac{m^3}{min} \right)$ .

$N$  = Cantidad de trabajadores de la guardia más numerosa.

**Caudal requerido por el uso de madera ( $Q_{Ma}$ )**

$$Q_{Ma} = T \times u \left( \frac{m^3}{min} \right) \quad (2.3)$$

Donde:

$Q_{Ma}$  = Caudal necesario por uso de madera  $\left( \frac{m^3}{min} \right)$ .

$T$  = Toneladas métricas húmedas producidas por jornada laboral.

$u$  = Factor de producción dada por la Tabla 0.1.

**Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo ( $Q_{Te}$ )**

$$Q_{Te} = V_m \times A \times N \left( \frac{m^3}{min} \right) \quad (2.4)$$

Donde:

$Q_{Te}$  = Caudal requerido por temperatura  $\left( \frac{m^3}{min} \right)$ .

$V_m$  = Velocidad mínima requerida en labores subterráneas, está dada por los valores presentes en la Tabla 0.2.

$A$  = Área de trabajo promedio.

$N$ = Número de niveles correspondiente a con temperaturas superiores a los 23 °C.

**Caudal requerido por equipos y maquinaria que funcionen a combustión que sea a base del petróleo ( $Q_{Eq}$ )**

$$Q_{Eq} = 3 \times HP \times D_m \times F_u \left( \frac{m^3}{min} \right) \quad (2.5)$$

Donde:

$Q_{Eq}$ = Caudal de aire requerido por equipos y maquinaria que funcionen a combustión que sea a base del petróleo  $\left( \frac{m^3}{min} \right)$ .

$HP$ = Potencia de la maquinaria o equipo (Hp).

$D_m$ = Promedio de la disponibilidad mecánica de los equipos y maquinaria (%).

$F_u$ = Promedio del factor de utilización de los equipos y maquinaria (%).

**Caudal requerido por el consumo de explosivos ( $Q_{Ex}$ )**

$$Q_{Ex} = \frac{100 \times a \times A}{0.008 \times t} \left( \frac{m^3}{min} \right) \quad (2.6)$$

Donde:

$Q_{Ex}$ = Cantidad de aire necesario para el consumo de explosivos  $\left( \frac{m^3}{min} \right)$ .

$A$ = Consumo de explosivo en la voladura en Kg.

$a = 0.040 \left( \frac{m^3}{kg} \right)$ .

$t$ = Tiempo de ventilación en minutos.

### **Cobertura de los ventiladores**

Para el cálculo de cobertura del ventilador, se determinan las características físicas del mismo, entre ellas el ancho, radio y número de aspas (ecuación 2.7).

$$CFM = (\pi * R^2) * [(ANCHO/2)(RPM * \#aspas/1728min)] \quad (2.7)$$

### **Selección de protección respiratorio**

Los equipos de protección respiratoria varían según el tipo de contaminación y tendrán diferentes tipos de construcción y funcionamiento para ello se calcula el índice o factor de protección requerido presente en la ecuación 2.8.

“Para calcular el índice de protección, es necesario tener la medición de la concentración de la sustancia en el lugar de trabajo (evaluación cuantitativa). Por otro lado, es necesario considerar el límite de exposición permitido” (Instituto de Salud Pública de Chile, 2018)

$$IP = \frac{\text{Concentración de contaminante}}{\text{Límite de exposición permitido}} \quad (2.8)$$

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se ilustran los resultados obtenidos en el levantamiento de información durante el trabajo de campo realizado en la mina Playitas, además se presenta el diseño actual del circuito de ventilación y de la misma forma la propuesta de implementación de un nuevo sistema que cumpla con la regulación de caudales óptimos de flujo de aire dentro de las labores mineras para mejorar el ambiente de trabajo.

### 3.1 Mediciones realizadas antes de implementar el circuito de ventilación.

#### 3.1.1 Mediciones de gases presentes en la mina Playitas

La mina Playitas durante sus operaciones mineras realiza actividades dentro de mina, que van desde el desquinche, perforación y voladura, carguío y transporte. De los 7 gases presente en la Tabla 1.1, los que se encuentran presente dentro de esta empresa minera, fueron medidos y se presentan en las Tablas 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5 son: monóxido de carbono (CO), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>). Se tomaron 6 puntos para la recolección de datos dentro de la mina Playitas, en la Tabla 3.1 se detallan el sitio con sus respectivas coordenadas en WGS 84.

**Tabla 3.1 Coordenadas de la toma de datos en WGS 84**

<b>Punto</b>	<b>Ubicación de la toma de datos</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	Frente de avance veta Cristina	651910	9599299
2	Pique de producción veta Jane	652275	9599590
3	Chimenea de producción Jane	651870	9599500
4	Crucero Jane-Cristina	652068	9599042
5	Galería de acceso Jane	651944	9599749

<b>Punto</b>	<b>Ubicación de la toma de datos</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
6	Galería de acceso principal	650895	9599751

En la tabla 3.2 se presentan los datos de gases medidos antes de las operaciones dentro de la mina Playitas, es decir, cuando no se encuentran activas las zonas de perforación, maquinaria de carguío y transporte.

**Tabla 3.2 Gases medidos antes de las operaciones**

<b>Punto</b>	<b>Ubicación de la toma de datos</b>	<b>O2</b>	<b>CO</b>	<b>NO2</b>	<b>H2S</b>	<b>CH4</b>
		<b>%</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>ppm</b>	<b>% Vol</b>
1	Frente de avance veta Cristina	20.8	10	0.4	1	0
2	Pique de producción veta Jane	20.6	17	0.9	1	0
3	Chimenea 5 de producción veta Cristina	20.6	15	0.7	1	0
4	Crucero Jane-Cristina	20.8	11	0.5	0	0
5	Galería de acceso Jane	20.8	13	0.5	1	0
6	Galería de acceso principal	20.8	10	0.2	0	0

En la tabla 3.3 se presentan los datos de gases medidos durante las operaciones dentro de la mina Playitas, cabe indicar que, dentro de la medida de estos gases, solo se toma en cuenta actividades como: desquinche, perforación, carguío y transporte.

**Tabla 3.3. Gases medidos durante las operaciones**

Punto	Ubicación de la toma de datos	O2	CO	NO2	H2S	CH4
		%	ppm	ppm	ppm	% Vol
1	Frente de avance veta Cristina	20.8	11	0.4	1	0
2	Pique de producción veta Jane	18.9	17	0.9	1	0
3	Chimenea 5 de producción veta Cristina	18.9	21	0.7	1	0
4	Crucero Jane-Cristina	20.8	11	0.5	0	0
5	Galería de acceso Jane	20.8	13	1.3	1	0
6	Galería de acceso principal	20.8	10	0.2	0	0

En la tabla 3.4 se presentan los datos de gases medidos durante las operaciones de voladura dentro de la mina Playitas, cabe indicar que, dentro de la medida de estos gases, solo se toma en cuenta el encendido de la voladura o disparos.

**Tabla 3.4. Gases medidos durante el encendido de la voladura**

Punto	Ubicación de la toma de datos	O2	CO	NO2	H2S	CH4
		%	ppm	ppm	ppm	% Vol
1	Frente de avance veta Cristina	20.4	251	0.5	96	0
2	Pique de producción veta Jane	20.6	369	0.2	155	0
3	Chimenea 5 de producción veta Cristina	20.6	328	0.4	128	0
4	Crucero Jane-Cristina	20.8	17	0.2	1	0
5	Galería de acceso Jane	20.8	11	0.2	1	0
6	Galería de acceso principal	20.8	10	0.2	0	0

En la tabla 3.5 se presentan los datos de gases medidos después de las operaciones de voladura dentro de la mina Playitas, cabe indicar, que esta medida se las realizó una hora después de los disparos.

**Tabla 3.5. Gases medidos después de la voladura.**

Punto	Ubicación de la toma de datos	O2	CO	NO2	H2S	CH4
		%	ppm	ppm	ppm	% Vol
1	Frente de avance veta Cristina	20.4	416	20	5	0.15
2	Pique de producción veta Jane	20.6	600	20	1	0.25
3	Chimenea 5 de producción veta Cristina	20.6	912	20	3	0.21
4	Crucero Jane-Cristina	20.8	577	20	1	0.22
5	Galería de acceso Jane	20.8	31	0.2	1	0
6	Galería de acceso principal	20.8	17	0.2	0	0

En la tabla 3.6 se presentan, en resumen, los datos de gases medidos dentro de la mina Playitas en cada una de las zonas de estudio. Esta tabla permite comprender los datos tabulados y de la misma forma realizar el análisis debido del porque se presentan en cierta cantidad en la atmosfera de trabajo

**Tabla 3.6 Resumen comparativo de los gases en las zonas de toma de datos.**

Punto	Ubicación de la toma de datos	O2	CO	NO2	H2S	CH4	
		%	ppm	ppm	ppm	% Vol	
1	Frente de avance veta Cristina	Antes	20.8	10	0.4	1	0
		Durante operación	20.8	11	0.4	1	0
		Encendido de voladura	20.4	251	0.5	96	0
		Después de voladura	20.4	416	20	5	0.15
2	Pique de producción veta Jane	Antes	20.6	17	0.9	1	0
		Durante operación	18.9	17	0.9	1	0
		Encendido de voladura	20.6	369	0.2	155	0
		Después de voladura	20.6	600	20	1	0.25
3	Chimenea 5 de producción veta Cristina	Antes	20.6	15	0.7	1	0
		Durante operación	18.9	21	0.7	1	0

Punto	Ubicación de la toma de datos	O2	CO	NO2	H2S	CH4	
		%	ppm	ppm	ppm	% Vol	
		Encendido de voladura	20.6	328	0.4	128	0
		Después de voladura	20.6	912	20	3	0.21
4	Crucero Jane-Cristina	Antes	20.8	11	0.5	0	0
		Durante operación	20.8	11	0.5	0	0
		* Encendido de voladura	20.8	17	0.2	1	0
		** Después de voladura	20.8	577	20	1	0.22
5	Galería de acceso Jane	Antes	20.8	13	0.5	1	0
		Durante operación	20.8	13	1.3	1	0
		* Encendido de voladura	20.8	11	0.2	1	0
		*** Después de voladura	20.8	31	0.2	1	0
6	Galería de acceso principal	Antes	20.8	10	0.2	0	0
		Durante operación	20.8	10	0.2	0	0
		* Encendido de voladura	20.8	10	0.2	0	0
		*** Después de voladura	20.8	17	0.2	0	0

\* Encendido de voladura no se efectuó en el sitio medido, porque es un crucero de conexión entre las labores.

\*\* Después de la voladura en el frente de avance de la Cristina, el gas evacua por el crucero Jane-Cristina.

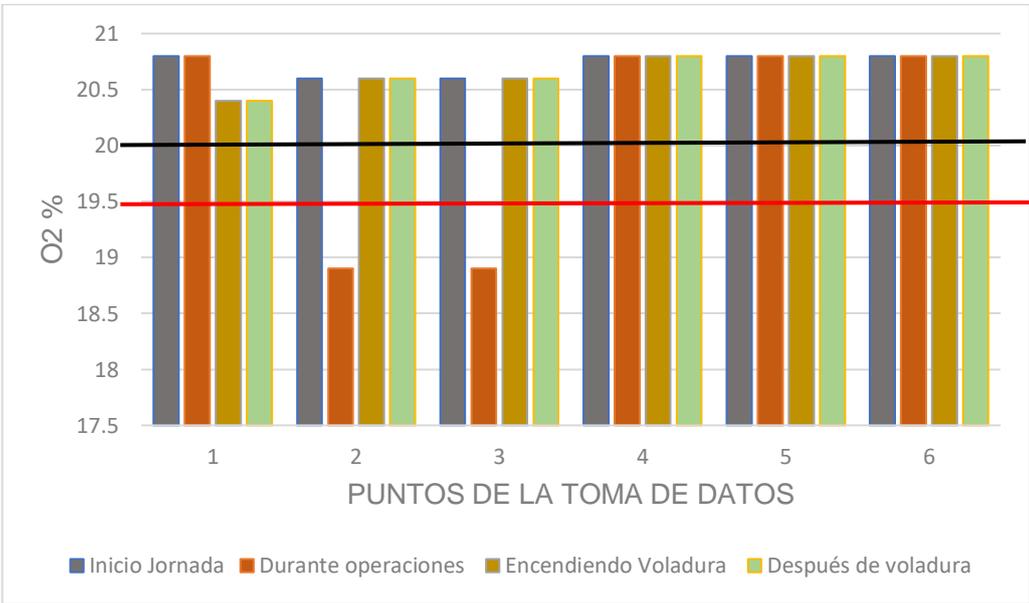
\*\*\* Promedio de la toma de datos en el tiempo medido por ser galerías de acceso, una vez encendidas todas las voladuras dentro de mina.

### 3.1.1.1 Concentración de oxígeno (O<sub>2</sub>)

Se analizó el porcentaje de O<sub>2</sub> presente en la atmosfera de trabajo dentro de las operaciones de la mina Playitas y para determinar los valores límites permisibles mínimos de este gas, se empleó las normas OSHA y ACGIH. Las líneas horizontales indican el valor mínimo de oxígeno por cada norma, la de color negro es de la normativa

ACGIH indicando el límite mínimo (20%) y la roja corresponde a la OSHA con un valor límite mínimo (19.5%) presentes en el ambiente. Los valores promedios mínimos y máximos fueron de  $18.9 \pm 20.8$ , resultados que en gran mayoría cumple con los estándares correspondientes, con excepción de los puntos 2 y 3 durante las operaciones. En la figura 3.1 se muestra lo señalado.

El oxígeno es bajo en zonas donde la ventilación no es la eficaz por motivos de la distancia, mientras que en valores mayores el fluido de aire es inyectado en mayor proporción para evacuar los gases. Una vez tabulados los datos, se determina que los sitios de problema con el oxígeno son el pique de producción de la veta Jane y el cruce 5 de la veta Cristina.

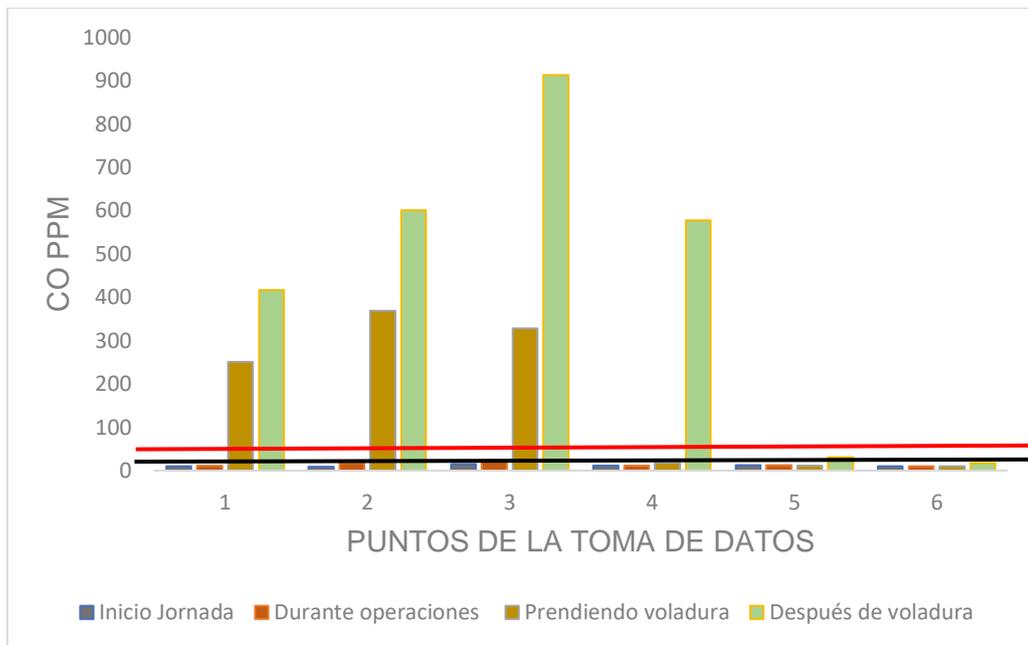


**Figura 3.1. Niveles de O<sub>2</sub> promedio medidos**

**3.1.1.2 Concentración de monóxido de carbono (CO)**

Se analizó los niveles de CO expresados en ppm, presentes en la atmosfera de trabajo dentro de las operaciones de la mina Playitas y para determinar los valores límites permisibles de este gas, se empleó las normas OSHA y ACGIH presentes en la Tabla 0.3. Las líneas horizontales indican el valor máximo permisible de CO por cada norma, la de color negro es de la normativa ACGIH indicando el valor límite máximo (25 ppm) y

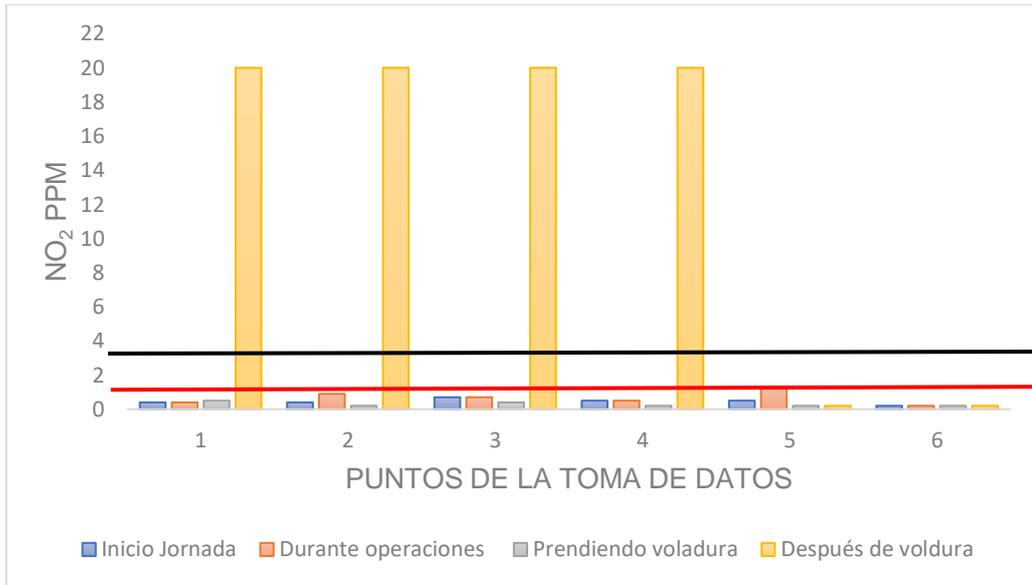
la roja corresponde a la OSHA con un valor límite máximo (50 ppm) presentes en el ambiente. Los valores promedios mínimos y máximos fueron de  $10 \pm 912$ , resultados que en gran mayoría cumple con los estándares correspondientes, con excepción de los puntos 1, 2, 3 y 4 en la fase de encendido de la voladura y después de los disparos. En la figura 3.2 se muestra lo señalado.



**Figura 3.2. Niveles de CO promedio medidos**

### 3.1.1.3 Concentración de dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ )

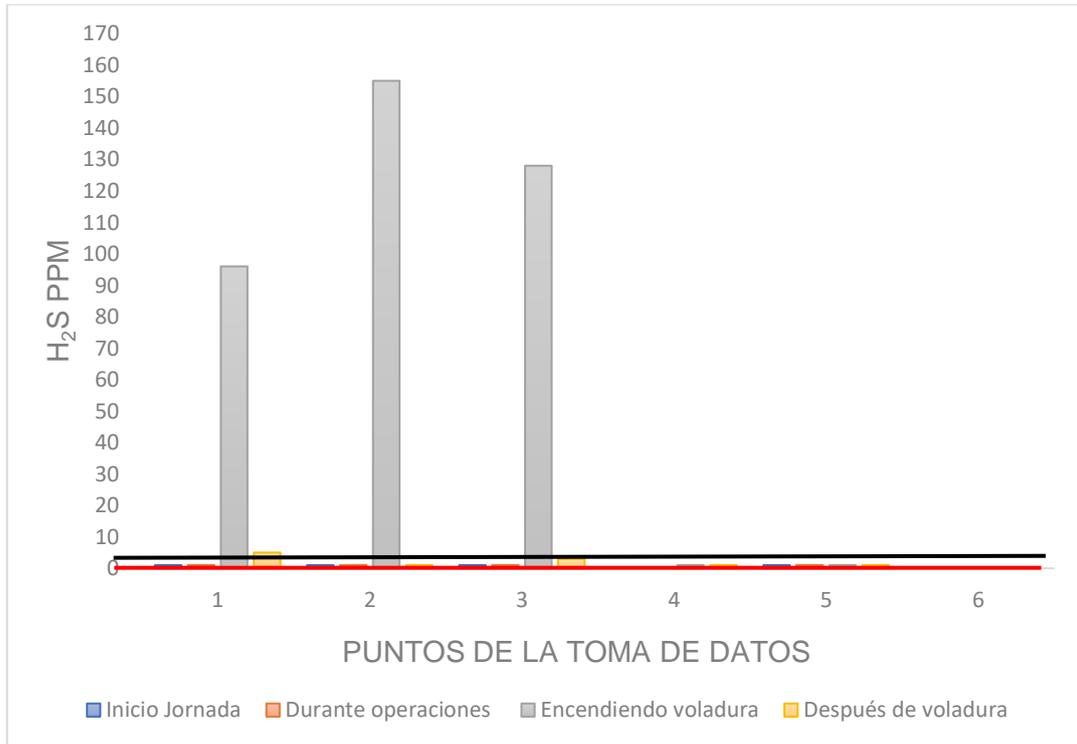
Se analizó los niveles de  $NO_2$  expresados en ppm, presentes en la atmosfera de trabajo dentro de las operaciones de la mina Playitas y para determinar los valores límites permisibles de este gas, se empleó las normas OSHA y ACGIH presentes en la Tabla 0.3. Las líneas horizontales indican el valor máximo permisible de  $NO_2$  por cada norma. La de color negro es de la normativa ACGIH indicando el valor límite máximo (3.0 ppm), resultado que no cumplen con los estándares en los puntos 1, 2, 3 y 4 después de los disparos. La roja corresponde a la OSHA con un valor límite máximo (1 ppm), resultados que no cumplen con los estándares en los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 una vez prendida la voladura y después de los disparos. Los valores promedios mínimos y máximos fueron de  $0.2 \pm 20$ , en la figura 3.3 se muestra lo señalado.



**Figura 3.3. Niveles de NO<sub>2</sub> promedio medidos**

#### **3.1.1.4 Concentración de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S)**

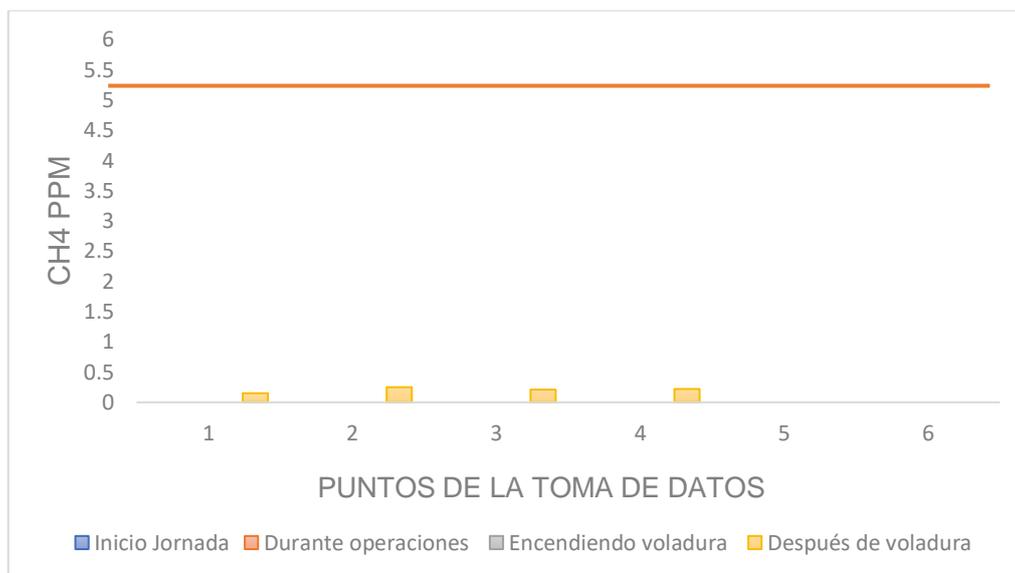
Se analizó los niveles de H<sub>2</sub>S expresados en ppm, presentes en la atmosfera de trabajo dentro de las operaciones de la mina Playitas y para determinar los valores límites permisibles de este gas, se empleó las normas OSHA y ACGIH presentes en la Tabla 0.3. Las líneas horizontales indican el valor máximo permisible de H<sub>2</sub>S por cada norma, la de color negro es de la normativa ACGIH indicando el valor límite máximo (5 ppm) y la roja corresponde a la OSHA con un valor límite máximo (1 ppm) presentes en el ambiente. Los valores promedios mínimos y máximos fueron de 0±155, resultados que en gran mayoría cumple con los estándares correspondientes, con excepción de los puntos 1, 2 y 3 en la fase de encendido de la voladura. En la figura 3.4 se muestra lo señalado.



**Figura 3.4. Niveles de H<sub>2</sub>S promedio medidos**

### **3.1.1.5 Concentración de metano (CH<sub>4</sub>)**

Se analizó el porcentaje de CH<sub>4</sub> presente en la atmosfera de trabajo dentro de las operaciones de la mina Playitas y para determinar los valores límites permisibles de este gas, se empleó las normas OSHA; esta norma indica que la emanación de este material gaseoso tiene un límite inflamable bajo (5.3% Vol). Los valores promedios medidos dentro de la empresa no superan este valor, por lo cual no existe riesgo en las labores de explotación minera, en la figura 3.5 se muestra lo señalado.



**Figura 3.5. Niveles de CH<sub>4</sub> promedio medidos**

### 3.1.1 Medición de material particulado presente en la mina Playitas

Dentro de mina se midió el material particulado dentro de mina en zonas de estudio dentro de mina, específicamente las áreas de producción. Para determinar el cumplimiento de la cantidad de este contaminante en operaciones mineras se utilizaron las normas OSHA Y ACGIH, tal y como se muestra en la Tabla 0.4.

En la Tabla 3.7, se presentan los datos del material particulado en mg/m<sup>3</sup> medidos dentro de la mina. Las áreas de recolección de muestras fueron: el frente de avance de la Veta Cristina, pique de producción de la veta Jane, chimenea 5 de producción de la veta Cristin, crucero Jane-Cristina, galería de acceso Jane y galería principal de acceso. Para la norma ACGIH, los puntos que no cumplen son los: 1 y 3; tanto que para la norma OSHA, el punto que no cumple es el 1.

**Tabla 3.7 Material particulado medido dentro de mina**

Punto	Sitio de medición	Hora Inicial	Hora Final	Fecha	Resultados mg/m3			Cumple con las normas *		Límites Permisibles mg/m3
					Polvo medido	Incertidumbre ±	Polvo total	ACGIH PEL *	OSHA TLV*	
1	Frente de avance Veta Cristina	12:17	14:23	17-nov-22	6.16	0.008	6.168	No cumple	No cumple	ACGIH PEL: 3  OSHA TLV: 5
2	Pique de producción Veta Jane	11:28	13:42	15-nov-22	1.71	0.008	1.718	Cumple	Cumple	
3	Chimenea 5 de producción veta Cristina	15:21	16:52	16-nov-22	4.15	0.008	4.158	No cumple	Cumple	
4	Crucero Jane-Cristina	14:21	15:34	15-nov-22	2.50	0.008	2.508	Cumple	Cumple	
5	Galería de acceso Jane	14:30	15:42	17-nov-22	1.14	0.008	1.148	Cumple	Cumple	
6	Galería de acceso principal	18:20	19:17	17-nov-22	1.09	0.008	1.098	Cumple	Cumple	

\* Normativa empleada para determinar los límites permisibles del material particulado dentro de la mina Playitas.

### 3.1.2 Medición de caudales de aire presentes en la mina Playitas

Dentro de la empresa minera, el caudal de ventilación no es constante y por ello se determinaron zonas de estudio para conocer si el ambiente de trabajo era el óptimo para

esta actividad. Los sitios de toma de datos del flujo de aire fueron: frente de avance de la veta Cristina, galería de acceso veta Cristina, crucero Jane-Cristina, galería de acceso veta Jane, chimenea 4 y 5 de la veta Cristina, pique de la veta Jane y galería principal de acceso de la mina Playitas.

Se usó un anemómetro digital para recolectar datos de la velocidad del aire y con el área del sitio de estudio, se empleó la ecuación 3.1 para el cálculo de caudal y en la tabla 3.8 se presentan los caudales medidos en las zonas de estudio de la mina Playitas.

$$Q_{Teórico} = A \times V \left( \frac{m^3}{min} \right) \quad (3.1)$$

Donde:

$$Q_{Teórico} = \text{Caudal teórico} \left( \frac{m^3}{min} \right)$$

A= Área de la zona de toma de datos ( $m^2$ )

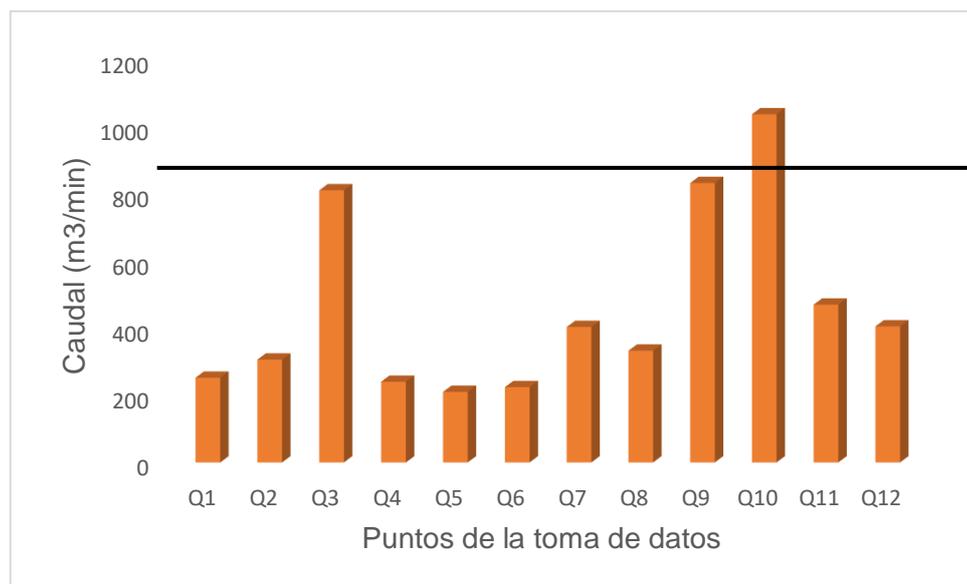
V= Velocidad de la zona medido con el anemómetro ( $\frac{m}{min}$ )

**Tabla 3.8 Caudales medidos en el trabajo de campo**

Puntos	Ubicación de la toma de datos		Área (m <sup>2</sup> )	Velocidad (m/min)	Caudal (m <sup>3</sup> /min)
1 Frente de avance veta Cristina	Frente de avance galería Cristina en operaciones	Q1	6	42	252.00
	Galería acceso veta Cristina (165m de galería principal de acceso)	Q2	7.29	42	305.97
2 Pique de producción veta Jane	Pique de producción veta Jane	Q3	9	90	810.00
	Chimenea de producción veta Jane (4)	Q4	5	48	240.00
3 Chimenea 5 de producción veta Cristina	Chimeneas de producción veta Cristina (1,4,5,8)	Q5	5	42	210.00
4 Crucero Jane-Cristina	Crucero conexión Jane-Cristina	Q6	5.33	42	224.01

Puntos	Ubicación de la toma de datos	Área (m <sup>2</sup> )	Velocidad (m/min)	Caudal (m <sup>3</sup> /min)	
5 Galería de acceso Jane	Galería acceso veta Jane (71m de galería principal de acceso)	Q7	6.72	60	403.20
	Galería acceso veta Jane (171m de galería principal de acceso, winche de izaje del pique)	Q8	9.24	36	332.64
6 Galería de acceso principal	Galería de acceso principal (15m de boca mina)	Q9	4.2	198	831.60
	Galería de acceso principal (315m de boca mina)	Q10	8.22	126	1036.22
	Galería de acceso principal (conexión galería veta Cristina)	Q11	7.83	60	469.80
	Galería de acceso principal (conexión galería veta Jane)	Q12	6.75	60	405.00

En la Figura 3.6, se presenta el representa el caudal medido en cada punto y sección de la mina y con respecto al cálculo del caudal necesario en mina obtenido en la sección 3.2.1, se trazó una línea horizontal para determinar si se cumple con el requerimiento de aire.



**Figura 3.6 Caudales medidos en zonas específicas dentro de mina**

## 3.2 Cálculos teóricos

### 3.2.1 Protección respiratoria

Una vez determinado las concentraciones de los gases que se presentan en la mina Playitas y si se encuentran dentro de los límites permisibles para la generación de un ambiente seguro de trabajo. En tanto el gaseamiento que no cumpla la normativa, se procedió a determinar el tipo de protección respiratoria alternativa a la ventilación que se debe emplear en las actividades diaria de producción, para ello se empleó la ecuación 2.8.

Para determinar el factor de protección, se tomó la relación entre concentrado y límite de exposición permitido más grande y fue la del sulfuro de hidrógeno al encender la voladura y se obtuvo lo siguiente:

$$IP = \frac{\text{Concentración de contaminante}}{\text{Límite de exposición permitido}}$$

$$IP = \frac{155}{5} = 31$$

El factor de protección que se debe emplear en la mina es de 31, este está entre el rango de 10 a 50 y el tipo de protección respiratoria eficaz para el cuidado humano deben ser mascarillas autofiltrante con válvulas FFGasX que se encuentra dada por la Figura 0.1

### 3.2.2 Caudal necesario

De acuerdo con el número de personas, se empleó la ecuación 2.2 y se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 3.9 Cantidad de trabajadores por jornada**

Variable	Datos	Unidades
Caudal mínimo de aire requerido por persona (F)	6	m3/min
Cantidad de trabajadores por jornada (N)	35	personas

$$Q_{Tr} = 6 \times 35$$

$$Q_{Tr} = 210 \left( \frac{m^3}{min} \right)$$

De acuerdo a las temperaturas en las labores de trabajo, se empleó la ecuación 2.4 y se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 3.10 Cantidad de niveles con temperatura mayor a 24 °C**

Variable	Datos	Unidades
Velocidad mínima requerida en labores subterráneas	30	m/min
Área de trabajo promedio	5.5	m <sup>2</sup>
Número de niveles correspondiente a con temperaturas superiores a los 23 °C	3	-

$$Q_{Te} = 30 \times 5.5 \times 3$$

$$Q_{Te} = 495 \left( \frac{m^3}{min} \right)$$

De acuerdo con el consumo de explosivos dentro de las operaciones de voladura, se empleó la ecuación 2.6 y se obtuvo lo siguiente

**Tabla 3.11 Cantidad de explosivo empleado en voladuras**

Variable	Datos	Unidades
Consumo de explosivo en la voladura en Kg	69.75	kg
A	0.04	m <sup>3</sup> /kg
Tiempo de ventilación	1200	min

$$Q_{Ex} = \frac{100 \times 0.04 \times 69.75}{0.008 \times 1200}$$

$$Q_{Ex} = 29.06 \left( \frac{m^3}{min} \right)$$

La empresa no requerirá caudales para equipos y maquinaria, ya que, el funcionamiento de estas se da por energía eléctrica. El consumo de madera es bajo, debido a que solo se la emplea para la construcción de buzones y escalera; por esto tampoco se requiere caudales para esta parte del cálculo final.

Para un buen ambiente laboral dentro de la mina playitas, se desarrolló el cálculo teórico necesario para todo el circuito de ventilación empleando la ecuación 2.1, antes de ello se determinaron los caudales por ítems.

$$Q_{To} = (210 + 495 + 29.06) + \left( \frac{15}{100} * (210 + 495 + 29.06) \right)$$

$$Q_{To} = 844 \left( \frac{m^3}{min} \right) \text{ ó } 29805 \text{ CFM}$$

El caudal teórico de ventilación requerido en la mina playitas es de  $844.17 \left( \frac{m^3}{min} \right)$ . Se procedió a realizar una línea horizontal en la Figura 3.6, para determinar las zonas en que la ventilación no es eficaz; en ella se obtuvieron que solo la galería de acceso principal cumple a cabalidad con el valor calculado.

### 3.2.3 Cobertura de ventilador

La mina playitas cuenta con un ventilador axial 5CX-4500 que se encuentra en la galería de acceso a la veta Jane a m de la galería de principal. Este ventilador cumple netamente el objetivo de abastecer de aire al pique de producción que se encuentra aproximadamente a 200m del mismo. Para determinar la cobertura del ventilador operativo de la mina, se empleó la ecuación 2.7 y se utilizaron los datos presentes en la Tabla 3.12

**Tabla 3.12 Datos característicos del ventilador 5CX-4500**

Variable	Datos	Unidades
Radio	2.30	pies
Ancho	3.30	pies
Velocidad	3500	RPM
# aspas	8	-

$$CFM = (\pi * 2.30^2) * [(3.30/2)(3500 * 8/1728min)]$$

$$CFM = 444 \left( \frac{pies^3}{min} \right) \text{ ó } 12.59 \left( \frac{m^3}{min} \right)$$

Como se mencionó en el capítulo anterior, la mina Playitas aprovecha en gran cantidad el flujo de aire natural que ingresa a la mina, el caudal promedio de entrada es de 460 m<sup>3</sup>/min. El valor anterior y el calculado en la cobertura del ventilador centrífugo 5CX-4500, da como resultado un total de 472.59 m<sup>3</sup>/min de flujo de aire dentro de las actividades mineras, esto corresponde al (55.99%). Se utilizaron los datos que se presentan en la tabla 3.12. El resultado obtenido con relación al caudal teórico calculado de 844m<sup>3</sup>/min, correspondiente al (100%) en las actuales condiciones, no cubre el (44.01%) restantes de la necesidad de aire que requiere la mina para realizar operaciones en un ambiente seguro.

Para seleccionar el nuevo ventilador que cubra el requerimiento del aire limpio restante junto con el existente dentro de la mina, se debe realizar una variación que cumpla entre el 5 a 7 % del valor teórico calculado, para obtener un valor mínimo y uno máximo, tal y como se indica en la Tabla 3.13.

**Tabla 3.13 Requerimiento de aire según la variación de aire limpio y la altitud**

Ventilador seleccionado (m <sup>3</sup> /min)		Requerimiento en <1500 msnm
460		1100 (m.s.n.m.)
Variación de ingreso de aire (m <sup>3</sup> /min)	5%	23 (m <sup>3</sup> /min)
	<b>Mínimo</b>	<b>483 (m<sup>3</sup>/min)</b>
	7%	32 (m <sup>3</sup> /min)
	<b>Máximo</b>	<b>492 (m<sup>3</sup>/min)</b>

El ventilador que requerimos debe ser de un valor mínimo de 483 m<sup>3</sup>/min y el máximo de 492 m<sup>3</sup>/min.

### 3.3 Propuesta del circuito de ventilación

El sistema de ventilación actual, no satisface con la necesidad de aire requerido para un ambiente de labores seguro dentro de la mina. En la empresa ECOPARKMINING, dentro de sus instalaciones Playitas se aprovecha en gran magnitud el aire natural que ingresa a la mina con caudal promedio de 460 m<sup>3</sup>/min, el empleo de aire comprimido como ventilación auxiliar y el de un ventilador centrífugo 5CX-4500 con una cobertura de 12.59 m<sup>3</sup>/min y un costo de \$555.96, pero este junto a la ventilación natural representan el 55.99% de la ventilación total requerida.

Para minería subterránea de pequeña minería, se recomiendan ventiladores axiales ya que estos generan mayor volumen de aire a bajas presiones de trabajo. Para ciertas áreas de ventilación en mina, se emplean ventiladores centrífugos ya que trabaja a altas temperaturas, y permite una mejor distribución del aire a través de ductos.

En la mina Playitas existe un factor importante dentro de la ventilación y es que se aprovecha en cierto porcentaje el aire natural que ingresa a ella y ayuda a aumentar el caudal de aire necesario.

### **3.3.1 Determinación de ventiladores axiales para la propuesta del circuito de ventilación**

Para determinar el nuevo circuito de ventilación debemos seleccionar ventiladores axiales que cumplan con el caudal teórico necesario con un requerimiento mínimo de 483 m<sup>3</sup>/min y máximo de 492 m<sup>3</sup>/min de aire limpio y de la altitud como se indica en la Tabla 3.13. Cabe recalcar, que este flujo de aire es el complemento al caudal promedio que proporciona la ventilación natural dentro de la mina, para ello se realizó el análisis técnico-económico de tres ventiladores presentes en las Tabla 3.15 respectivamente.

Para el análisis técnico-económico se ha seleccionado tres alternativas de ventiladores axiales los cuales cumplen con el requerimiento mínimo de 483 m<sup>3</sup>/min y máximo de 492 m<sup>3</sup>/min de aire limpio: La primera alternativa que corresponde a un ventilador tubo axial AVR-710, como segunda alternativa que corresponde a un ventilador axial VA70F-10 y por último la tercera alternativa corresponde a un ventilador helicoidal axial tubular HTP.

**Tabla 3.14 Análisis comparativo entre los tres ventiladores propuestos**

No	Características técnicas	Tubo axial AVR-710	Axial VA70F-10	Helicoidal axial tubular HTP
1	<b>Descripción del ventilador</b>			
1.1	<b>Características</b>	Ventilador pequeño en relación a los centrífugos de características equivalentes. Por lo general se lo emplea en sistemas de ventilación, renovación calefacción, circulación forzada, extracción, refrigeración.	Ventilador axial pequeño que posee rotor de álabes con perfiles aerodinámico, este modelo presenta también aletas rectificadoras del caudal de aire ubicado en la impulsión de la hélice, generando un gran rendimiento y grandes presiones de trabajo. Tiene control de consumo eléctrico.	Ventilador axial de extracción de gran presión diseñado para aplicaciones mineras o aplicaciones que generen grandes pérdidas de carga.
2	<b>Medición</b>			
2.1	<b>Potencia</b>	7.80 HP	10 HP	14.75 HP
2.2	<b>Caudal</b>	Desde 16.66 m3/min hasta 6666.67 m3/min	Desde 348 hasta 570 m3/min	490 m3/min
2.3	<b>Presión</b>	1176 Pa	Desde 240 Pa hasta 1540 Pa	1128 Pa
2.4	<b>Decibeles</b>	67 (dB)	69 (dB)	94 (dB)
3	<b>Costo (USD)</b>			
3.1	<b>Adquisición</b>	1627.17	1947.60	2320.17
3.2	<b>Mantenimiento</b>	233.20	197.34	276.08
4	<b>Ilustración</b>			

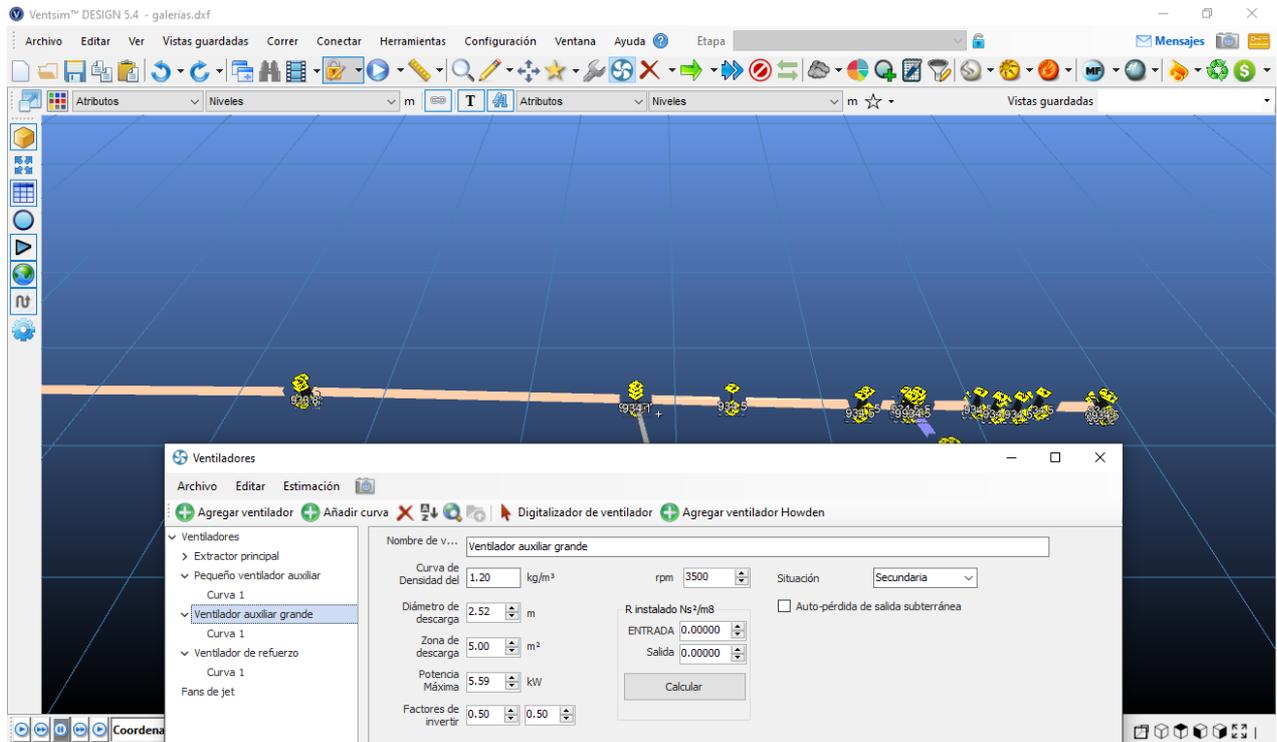
4.1	Ilustraciones			
5	Referencia			
5.1	Fuente	(Soler&Palau Ventilation Group, 2018)	(Induminer, 2018)	(Sodeca, 2018)

Los 3 ventiladores seleccionados para la propuesta de ventilación presentes en la Tabla 3.15, cumplen con el requerimiento de caudal necesario para complementar el acondicionamiento de aire dentro de la mina. Dentro de estos, existen dos con dimensionamiento pequeño con decibeles de 67 a 69 dB y una potencia de 7.80 HP a 10 HP; mientras que el más grande posee una potencia instalada de 14.75 HP haciendo que se genera más consumo de energía y genera 95 dB de ruido en su operación. Las presiones a las que trabajan estos ventiladores axiales van desde 1178 a 1540 Pa. El costo de adquisición de cada uno de los ventilares van desde \$1627.17 a \$2320.17 respectivamente y los costes de mantenimiento varía dependiendo el ventilador empleado y van desde \$197.34 a 276.08.

### **3.3.2 Simulaciones software VentSim Design Premium MultiFlux con licencia completa**

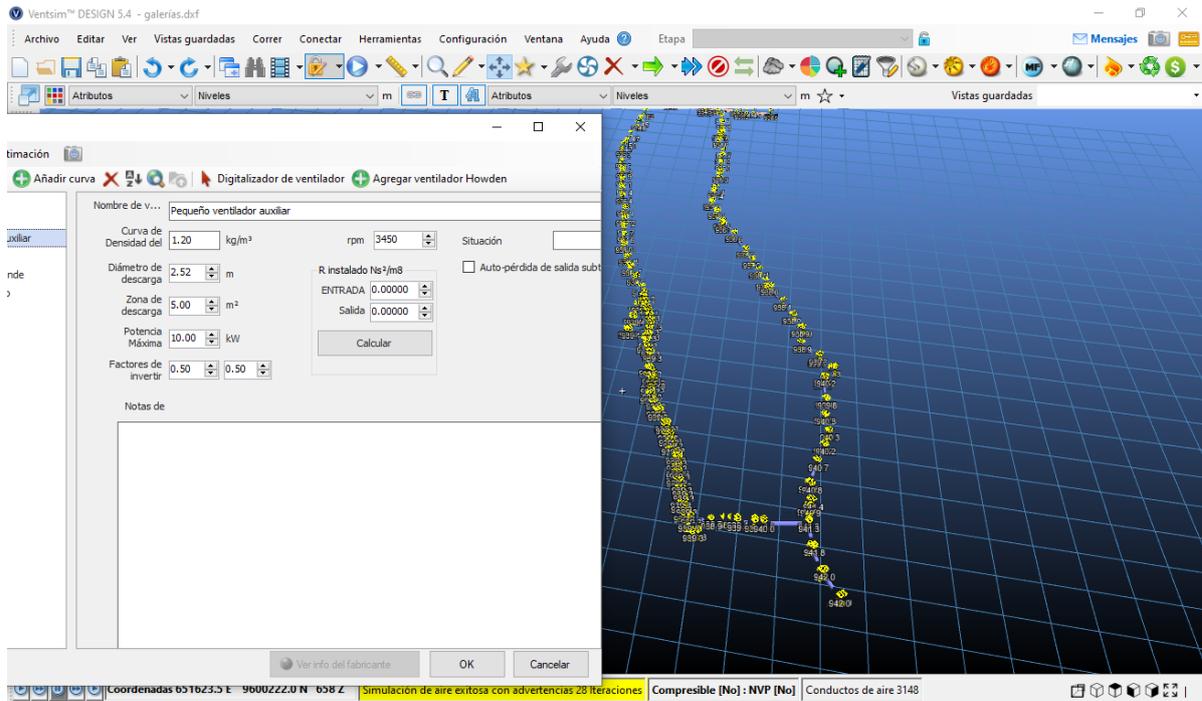
Las simulaciones fueron realizadas para determinar el comportamiento de los ventiladores propuestos dentro del circuito de ventilación y se obtuvieron los siguientes resultados:

En la Figura 3.7, se simuló el circuito de ventilación con el ventilador tubo axial AVR-710, este auxiliar a la ambientación de la mina, cumple con el caudal requerido dentro de la mina, trabaja a presiones bajas y tiene instalada una potencia de 7.5 HP, este ventilador por ser pequeño en el nuevo circuito de ventilación se determina su colocación dentro del crucero de conexión entre la veta Cristina y la Jane, por la poca generación de ruido también se determinó la implementación en dicho lugar.



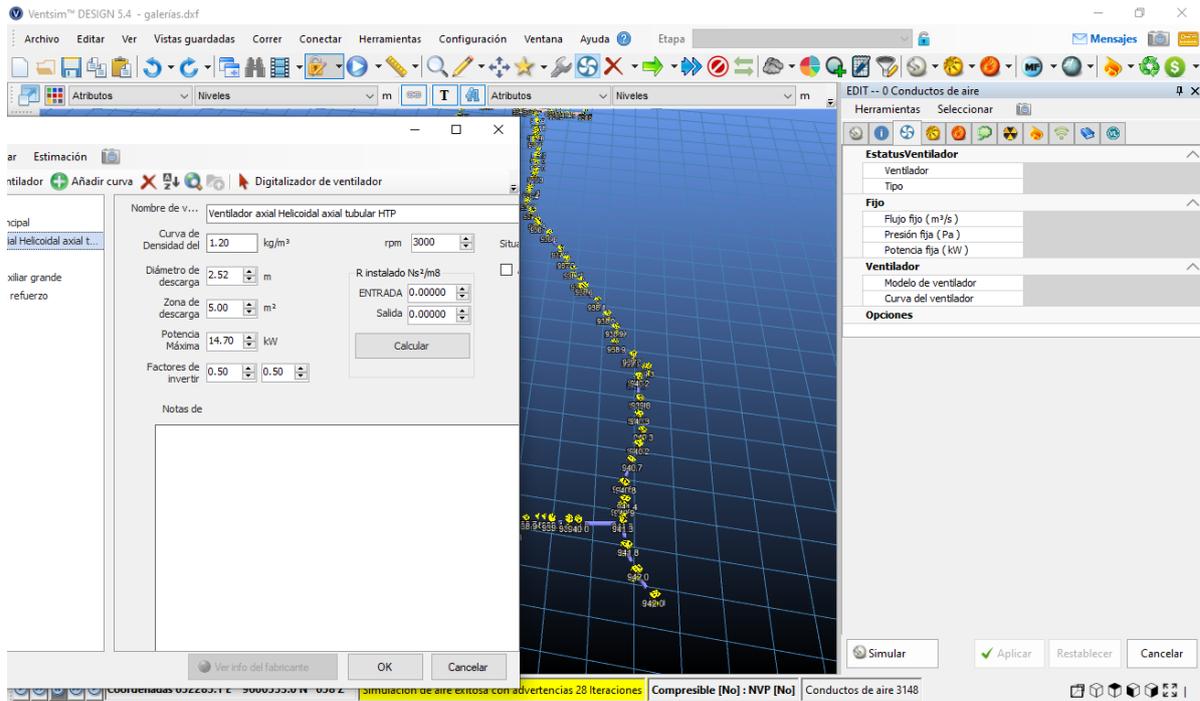
**Figura 3.7 Simulación con el ventilador Tubo axial AVR-710**

En la Figura 3.8, se simuló el circuito de ventilación con el ventilador axial VA70F-10, este auxiliar a la ambientación de la mina cumple con el caudal requerido dentro de la mina, trabaja a presiones bajas y tiene instalada una potencia de 10 HP, este ventilador por ser pequeño en el nuevo circuito de ventilación se determina su colocación dentro del crucero de conexión entre la veta Cristina y la Jane, por la poca generación de ruido también se determinó la implementación en dicho lugar.



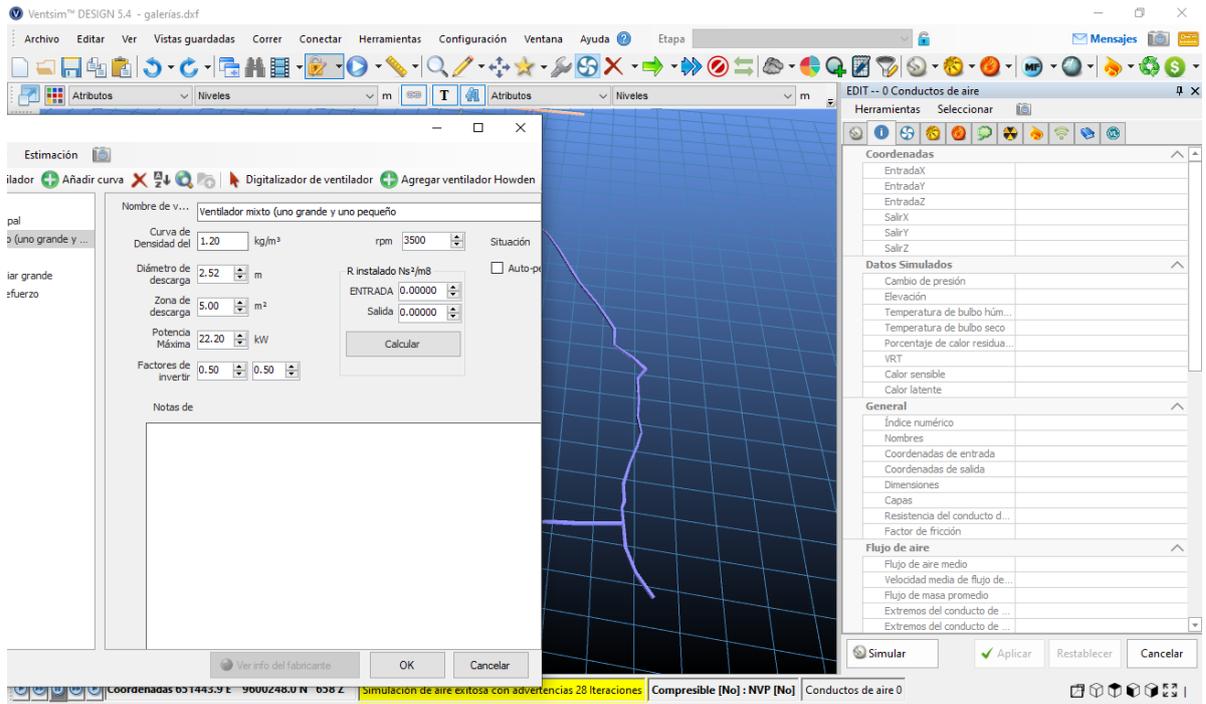
**Figura 3.8 Simulación con el ventilador axial VA70F-10**

En la Figura 3.9, se simuló el circuito de ventilación con el ventilador axial Helicoidal axial tubular HTP, este auxiliar a la ambientación de la mina, cumple con el caudal requerido dentro de la mina, trabaja a presiones bajas y tiene instalada una potencia de 14.7 HP, este ventilador presenta un dimensionamiento mayor al de los antes mencionados, por lo que en el nuevo circuito de ventilación se determina su colocación en la galería principal de la mina, junto a la galería Cristina, por la gran generación de ruido se determinó la implementación en dicho lugar.



**Figura 3.9 Simulación con el ventilador axial Helicoidal axial tubular HTP**

Se realizó una nueva simulación que se muestra en la Figura 3.10, en ella se determinó la colocación del ventilador axial Helicoidal axial tubular HTP en la ubicación antes mencionada y otro pequeño, en este caso el tubo axial AVR-710 dentro del pique de producción para que el acondicionamiento de los frentes de trabajo cumpla con el caudal teórico requerido.



**Figura 3.10 Simulación de dos ventiladores combinados (pequeño y grande)**

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se determinó la cobertura de la ventilación en mina dada de manera natural, auxiliar generada por compresores y el ventilador centrífugo dentro de mina y se obtuvo un flujo de aire de 472.59 m<sup>3</sup>/min, este valor no cumplen con el teórico obtenido a raíz de la cantidad de trabajadores por jornada, niveles con temperaturas mayores a 24 °C y cantidad de explosivo utilizado, dando un valor de 844 m<sup>3</sup>/min. El valor de la cobertura actual de la ventilación representa el 55.99% de la ventilación total requerida por la mina de manera teórica. En ciertas partes de la mina el material particulado presente en la atmósfera no cumple la norma.
- Se determinó el circuito de ventilación para la mina Playitas, aplicando criterios técnicos, económicos y mediante las simulaciones a través del software Ventsim Design Premium + Multiflux con licencia completa 131, considerando tres tipos de ventiladores: (1) tubo axial AVR-710, (2) axial VA70F-10, y (3) helicoidal axial tubular HTP.
- Una vez realizadas las simulaciones del nuevo circuito de ventilación, se determinó la implementación de los dos ventiladores, el Tubo axial AVR-710 y el axial VA70F-10 dentro del crucero por su tamaño y por la generación menor de ruido por accionamiento de estos equipos; mientras que, el ventilador helicoidal axial tubular HTP se lo debe posicionar en la galería principal junto a la galería Cristina por el espaciamiento que existe en el lugar, ya que es un ventilador con dimensionamiento mayor y genera mayor ruido que los demás.
- De los tres ventiladores seleccionados en la parte técnica, la potencia del tubo axial AVR-710 es 25% menor que el axial VA70F-10 y 48.97% que el helicoidal axial tubular HTP. El ventilador axial VA70F-10 es 31.97% menor que el helicoidal axial tubular HTP, lo que significa menor consumo energético.
- Con relación al ruido que producen los equipos, los decibeles del tubo axial AVR-710 es 2.89% dB menor que el axial VA70F-10 y 28.72% que el helicoidal axial

tubular HTP. El ventilador axial VA70F-10 es 26.59% menor que el helicoidal axial tubular HTP, lo que significa menor generación de ruido.

- En el aspecto económico, el costo por adquisición del tubo axial AVR-710 es 16% menor que el axial VA70F-10 y 29.87% que el helicoidal axial tubular HTP. El ventilador axial VA70F-10 es 16.05% menor que el helicoidal axial tubular HTP, lo que significa menor costo de adquisición.
- En el ámbito económico, el costo por mantenimiento del tubo axial AVR-710 es 18.17% más que el axial VA70F-10 y 15.53% menos que el helicoidal axial tubular HTP. El ventilador axial VA70F-10 es 28.52% menor que el helicoidal axial tubular HTP; lo que significa menor costo de mantenimiento.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Al determinar la cantidad de concentrados contaminante a la atmosfera de trabajo se recomienda usar, dado el factor de protección respiratorio, mascarillas autofiltrante con válvulas FFGasX. Estas ayudan a reducir gaseamientos dentro de la mina y de la misma forma no permite el ingreso de material particulado que no se encuentre dentro de los límites permisibles.
- La mina Playitas aprovecha en gran magnitud el aire fresco proporcionado por la ventilación natural, pero en ciertas zonas de trabajo este es escaso y el ventilador auxiliar no cubre con la necesidad. Por esto, se recomienda emplear en el circuito de ventilación ventiladores axiales como: el tubo axial AVR-710, VA70F-10 y el helicoidal axial tubular HTP, ya que, estos generan mayor flujo volumétrico y operan en presiones bajas y el dimensionamiento cumplen con la accesibilidad a la mina.
- Como punto importante en el circuito de ventilación, se recomienda colocar el ventilador helicoidal axial tubular HTP en la galería de acceso principal frente a la entrada de la veta Cristina, ya que, este ventilador genera alto ruido y el lugar de ubicación es una de las zonas más amplias de la mina. Para complementar este circuito de ventilación, se recomienda también colocar un ventilador pequeño de 7.5 HP (tubo axial AVR-710) en el pique de producción para que la atmosfera de trabajo sea la efectiva para las operaciones mineras.

# BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2020). *Resolución Nro. ARCERNNR-0137/2020*.
- Agencia de Regulación y Control Minero. (2019). *Proyecto de Seguimiento, control y evaluación de labores mineras en el distrito Zaruma-Portovelo*.
- Agencia Nacional de Minería de Colombia. (diciembre de 2017). *Guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas*. Obtenido de Positiva Compañía de Seguros: [https://www.anm.gov.co/sites/default/files/folleto\\_mineria\\_ventilacion.pdf](https://www.anm.gov.co/sites/default/files/folleto_mineria_ventilacion.pdf)
- Aguirre Pineda, L., Chuquiej García, B., Granados, A., & Cifuentes, J. (2011). *Instrumentación industrial- Anemómetro* . Obtenido de Universidad de San Carlos de Guatemala : [https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Cifuentes-3/publication/301495533\\_INSTRUMENTACION\\_INDUSTRIAL\\_-ANEMOMETRO/links/5716788208aec49c999cbddb/INSTRUMENTACION-INDUSTRIAL-ANEMOMETRO.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Cifuentes-3/publication/301495533_INSTRUMENTACION_INDUSTRIAL_-ANEMOMETRO/links/5716788208aec49c999cbddb/INSTRUMENTACION-INDUSTRIAL-ANEMOMETRO.pdf)
- Banco Central del Ecuador . (2022). Obtenido de Sector Minero, cartilla informativa: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>
- Castro, Y., Delgado, J., & J.J., C. (2014). Análisis del índice de impacto térmico generado en un ambiente subterráneo . *Respuestas, vol 19, no.2* , 32-40.
- Dagatron . (21 de noviembre de 2017). *Qué es un termohigrómetro?* Obtenido de <http://www.dagatron.es/blog/que-es-un-termohigrometro/>
- Herbert, J. H. (2019). *Introducción a la ventilación minera*. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid .
- Induminer. (2018). *Ventiladores para minería y túneles*. Obtenido de Iduminer : <https://www.induminer.com/ventiladores>
- infoAgro . (2020). *Anemómetro* . Obtenido de Especialista del Jardín: [https://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/doc\\_anemometro\\_velocidad\\_viento.asp?k=80](https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_anemometro_velocidad_viento.asp?k=80)
- Instituto de Salud Pública de Chile. (2018). *Guía para la selección y control de equipos de protección respiratoria* . v2.

- Jaramillo, J. O. (2016). *Memoria técnica del producto comunicativo: "La vida en las minas Zarumeñas"*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Jarrín Jurado, J., & Arias Verdezoto, O. (2018). *Zonificación de paragénesis de las vetas Colorada, Katherine y Gaby norte en la Sociedad Civil Minera Goldmins ubicada en el distrito aurífero polimetálico Portovelo-Zaruma*. Quito: Universidad Central del Ecuador .
- McPherson, M. J. (1993). *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*.
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2017). *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, Decreto Supremo N° 024-2017-EM*. Lima Metropolitana.
- Ministerio de minería del gobierno de Chile. (14 de junio de 2013). *OPERACIÓN Y TRÁNSITO DE EQUIPOS, VEHÍCULOS Y PERSONAS* . Obtenido de GUÍA N° 2 DE OPERACIÓN PARA LA PEQUEÑA MINERÍA : [https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/10/G2\\_DescrOperacionTransito.pdf](https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/10/G2_DescrOperacionTransito.pdf)
- Ministerio de minería del gobierno de Chile. (2018). Operación y tránsito de equipos, vehículos y personas. *Guía N°2 de operación para la pequeña minería* , 4-17.
- MSO Industrial S.A.S. (2012). *Optimización del sistema de ventilación en una mina de gran*. Utah: University of Utah, Dept. of Mining Engineering.
- Organización Mundial de la Salud. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. *Resumen de evaluación de los riesgos* , 9-13.
- Paz Palacios, J. (2017). *Tipos de minado* . Obtenido de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo: [https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P\\_Presentaciones/zimapan/ingenieria\\_en\\_procesamiento\\_de\\_recursos\\_minerales/2018/introduccion\\_a\\_la\\_explotacion\\_de\\_minas.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/zimapan/ingenieria_en_procesamiento_de_recursos_minerales/2018/introduccion_a_la_explotacion_de_minas.pdf)
- Rumbo Minero . (5 de agosto de 2020). *Detectores de gases para minería subterránea*. Obtenido de Rumbo Minero Internacional: <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/actualidad-empresarial/detectores-de-gases-para-mineria-subterranea/>
- Sandoval, F. (2021). *La pequeña minería en el Ecuador* . Mining, Minerals and Sustainable Development.

Seguridad Minera. (17 de octubre de 2017). *Criterios claves para una ventilación minera según reglamento de seguridad* . Obtenido de Seguridad Minera: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/ventilacion-minera-adecuada-segun-el-reglamento/>

Servicio Nacional de Geología y Minería . (2008). *Guía metodológica de seguridad para proyectos de ventilación en minas.* . Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/12/200812GuiaVentilacionMinas.pdf>

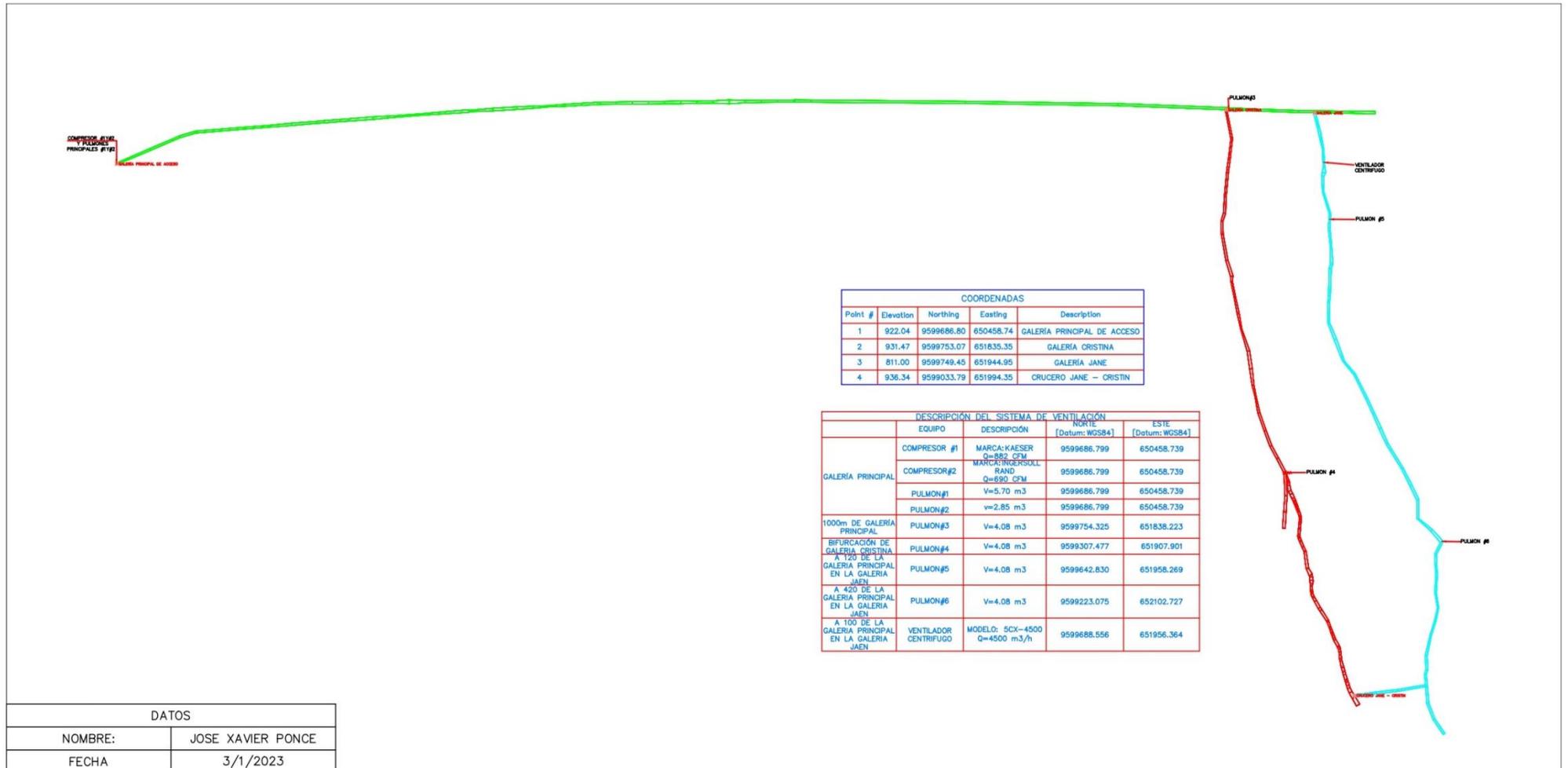
Sodeca. (2018). *Ventilador helicoidal HTP*. Obtenido de Sodeca: <https://www.sodeca.com/es/productos/htp-p1000000103?cs=1&fil=50#prod>

Soler&Palau Ventilation Group. (2018). AVR, Ventiladores Axiales . 5, 8, 30.

# **ANEXOS**

# ANEXO A

## Plano 1 Ventilación actual mina Playitas



**Tabla 0.1 Factor de producción relacionado al consumo de madera (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2017)**

<i>Consumo de Madera (%)</i>	<i>Factor de Producción (<math>\frac{m^3}{min}</math>)</i>
<20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 71	1.25

**Tabla 0.2 Velocidad mínima requerida en labores subterráneas (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2017).**

<i>Temperatura Seca (°C)</i>	<i>Velocidad Mínima (<math>\frac{m}{min}</math>)</i>
< 24	0.00
24 a 29	30.00

**Tabla 0.3 Normativa de límites permisibles según OSHA y ACGIH**

		$O_2$	CO	$NO_2$	$H_2S$	$CH_4$
<i>Límites máximos permisibles en % y ppm</i>	OSHA	19.5%	50 ppm	1.0 ppm	1.0 ppm	5.33 %Vol
	ACGIH	20%	25 ppm	3.0 ppm	5.0 ppm	-

**Tabla 0.4 Límites permisibles para Muestreo Personal de polvo**

<i>Componentes</i>	<i>Normas usadas</i>			
	OSHA		ACGIH	
	PEL	STEL	TLV	STEL
<i>Partículas respirables (menores a 10 <math>\mu</math>)</i>	5 mg/m <sup>3</sup>	No disponible	3 mg/m <sup>3</sup>	No disponible

Norma	Descripción	Clase	FPN	Factores de protección asignados usados en algunos países				
				FIN	D	I	S	UK
EN 149	Mascarilla autofiltrante para partículas	FFP1	4	4	4	4	4	4
		FFP2	12	10	10	10	10	
		FFP3	50	20	30	30	20	
EN 405	Mascarilla autofiltrante con válvulas	FFGasX P1	4		4	-		4
		FFGasX	50		30	-		10
		FFGasX P2	12		10	-		10
		FFGasX P3	33		30	-		10
EN 140 (Máscara) Filtros EN 141* EN 143 EN 371* EN 372* EN 14387 EN 12083	Medias máscaras y cuartos de máscara con filtros	P1	4	4	4	4	4	4
P2		12	10	10	10	10		
P3		48		30	30		20	
GasX		50	20	30	30	20	10	
GasX P1		4						
GasX P2		12						
GasX P3		48		30	-			
EN 1827	Mascarillas autofiltrantes sin válvulas de inhalación	FM P1	4		4	-		4
		FM P2	12		10	-		10
		FM P3	48		30	-		20
		FM GasX	50		30	-		10
		FM GasX P1	4					
		FM GasX P2	12					
		FM GasX P3	48					
EN 136 (Máscara) Filtros EN 141* EN 143 EN 371* EN 372* EN 14387 EN 12083	Máscaras completas (todas las clases)	P1	5	4	4	4	4	4
		P2	16	15	15	15	15	10
		P3	1000	500	400	400	500	40
		GasX	2000	500	400	400	500	20
		GasX P1	5					
		GasX P2	16					
		GasX P3	1000		400	-		
EN 12941	Equipo filtrante motorizado con capucha o casco	TH1	10	5	5	5 <sup>B</sup>	5	10
		TH2	50	20	20	20 <sup>B</sup>	20	20
		TH3	500	200	100	200 <sup>B</sup>	200	40

Figura 0.1 Factor de protección asignados según normativa europea

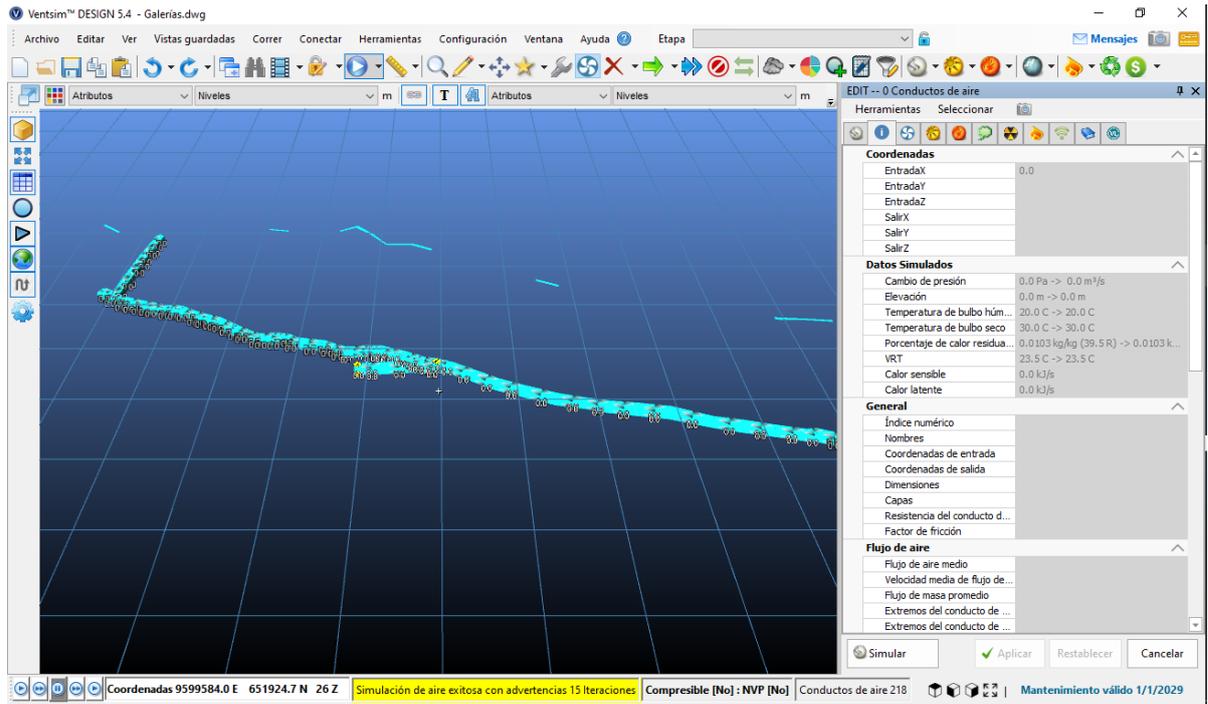


Figura 0.2 Simulación ventiladores propuesta

