



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**COMPARACIÓN DE VENTILACIÓN NATURAL Y MECÁNICA  
EN LA MINERA AURÍFERA IV DE ENERO – CHALA.**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ERICK PAUL ALEJO PARI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2019**



## DEDICATORIA

*Este trabajo se lo dedico a mi familia, en especial a mi madre Daria Pari, por su apoyo incondicional de ver en mí, un hombre con una carrera universitaria, formándome con buenos hábitos y valores, sabiendo guiarme por el buen camino y siempre me inculcó que el estudio es la mejor carta para materializar los sueños de manera más fácil.*



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, por haber compartido sus conocimientos además de la fundamental labor que realizan en la contribución en mi formación profesional, de manera especial.



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>8</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>15</b>
<b>IV. DISCUSIÓN.....</b>	<b>21</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>22</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>23</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>23</b>

**Área:** Ingeniería de minas

**Línea:** Servicios auxiliares requeridos en minería

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 14 de noviembre del 2019



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Labores de estudio .....	12
<b>Tabla 2.</b> Variación de cantidad de aire según altitud. ....	13
<b>Tabla 3.</b> Equipos de ventilación de mina. ....	16
<b>Tabla 4.</b> Cálculo de Q1, por el número de personas. ....	17
<b>Tabla 5.</b> Cálculo de Q3, por el uso de explosivos. ....	18
<b>Tabla 6.</b> Caudal de aire total requerido. ....	18
<b>Tabla 7.</b> Requerimiento y caudal de ingreso de aire natural. ....	18
<b>Tabla 8.</b> Costos unitarios para la construcción de una chimenea. ....	19
<b>Tabla 9.</b> Datos para la compra del ventilador. ....	19
<b>Tabla 10.</b> Costo por manga de ventilación. ....	20
<b>Tabla 11.</b> Resumen de costo mensual y anual. ....	20
<b>Tabla 12.</b> Ventajas de la ventilación natural y mecánica. ....	20
<b>Tabla 13.</b> Desventajas de la ventilación natural y mecánica. ....	21



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Circuito de ventilación natural MACDESA.....	15
<b>Figura 2.</b> Variación de caudal de aire según profundidad de la labor. ....	16
<b>Figura 3.</b> Variación de caudal de aire según profundidad de la labor .....	17



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

**MACDESA:** Minera Aurífera Cuatro de Enero S.A.

**D.S.:** Decreto Supremo

**NV:** Nivel

**Cx:** Crucero

**Q:** Caudal de aire (utilizado en fórmulas)



## **Comparación de ventilación natural y mecánica en la Minera Aurífera IV de Enero – Chala.**

### ***Comparison of natural and mechanical ventilation in the gold mine January IV - Chala.***

Erick Paul, Alejo-Pari

Facultad de Ingeniería de Minas - Universidad Nacional del Altiplano de Puno – Perú

[erick.alepar@gmail.com](mailto:erick.alepar@gmail.com)

#### **RESUMEN**

La investigación se realizó en la zona sur del nivel 1760 de la Unidad Minera Aurífera IV de Enero S.A. durante el mes de octubre del presente año, y tiene como objetivo realizar la comparación de las condiciones actuales de la ventilación natural y mecánica en el lugar de estudio; el tipo de investigación es descriptivo; conforme a la normativa D.S. N° 024-2016-EM y sus respectivas modificaciones en el D.S N° 023-2017-EM, para el reconocimiento del circuito de ventilación natural y los equipos de ventilación con las que cuenta la mina; tomando los datos en campo con un anemómetro DWYER, para la medición de temperatura y la velocidad del aire, a partir de estas se realiza la selección de la información y los cálculos correspondientes de caudal mínimo requerido de aire, balance final y el estudio económico entre la ampliación de una chimenea y la compra e instalación de un ventilador, obteniendo como resultado que la ventilación principal en la mina, se realiza de manera natural, mientras que la ventilación secundaria y auxiliar es mecánica, esto porque la deficiencia de 300,78 m<sup>3</sup>/min y el comportamiento del flujo de aire y los niveles de temperatura, obligan el uso de ventiladores mecánicos por sus diferentes ventajas.

#### **Palabras claves**

Aire, caudal, chimenea, ventilador, viciado.

#### **ABSTRACT**

*The exploitation of mines becomes increasingly important therefore also the ventilation of mines, not only because of the growing demand for minerals, but also because of the risks that endanger the life and well-being of workers in underground mining. The present scientific article was carried out in the southern zone of the 1760 level of the Auriferous Mining Unit IV de January S.A. during the month of October of this year, and aims to make the comparison of the current conditions of natural and mechanical ventilation in the place of study; The type of research is descriptive; The starting point is the DS-N°-024-2016-EM and its respective modifications of the DS-N°-023-2017-EM, for the recognition of the natural ventilation circuit and the ventilation equipment with which the mine; data collection is also carried out in the field with a DWYER anemometer, for the measurement of temperature and air speed, from these the selection of the information and the corresponding calculations of minimum required air*





*flow, final balance and the economic study between the expansion of a chimney and the purchase and installation of a fan.*

*In this way it is concluded that the main ventilation in MACDESA, is performed naturally, while the secondary and auxiliary ventilation is mechanical, this because the deficiency of  $300.78 \text{ m}^3 / \text{min}$  and the behavior of air flow and temperature levels, they force the use of mechanical fans for their different advantages.*

***Keywords***

*Stale, air, flow, fireplace, fan.*



## I. INTRODUCCIÓN

La unidad Minera Aurífera IV de Enero S.A. es una empresa dedicada a la explotación de mineral aurífero por medio de operaciones subterráneas, es una pequeña empresa que realiza sus operaciones de manera convencional; por tal motivo al realizar la extracción de minerales, se generan polvo y gases producidos por el uso de explosivos y diversas maquinarias, los cuales son altamente tóxicos y nocivos para la salud de los trabajadores.

Siendo entonces la ventilación una de las principales problemáticas para la ingeniería de minas, pues en minería subterránea la importancia de un buen sistema de ventilación es fundamental, por eso ventilar una labor es muy necesario y así lograr el flujo de aire necesario que pueda fluir de modo continuo en los frentes de trabajo, la que debe de tener por lo menos una salida y una entrada de aire, comunicados con el exterior de mina por medio de chimeneas y así poder lograr una circulación de la corriente de ventilación de aire en interior mina (Quispe, 2009).

Considerando necesaria la ventilación en la actividad minera, se realizan los estudios basándose a lo exigido en la normatividad vigente nacional e internacional en lo que respecta a la ventilación de operaciones mineras, pues consideran que los trabajos en

minería subterránea deben de cumplir con requerimientos exigidos en cuanto a la cantidad y calidad del aire, que brinde satisfacción al personal y la conservación de los equipos y maquinarias utilizadas en las operaciones; en el panorama nacional se aplican los requerimientos exigidos para cumplir con los estándares establecidos en el D.S. N° 024-2016-EM y sus respectivas modificaciones en el D.S. N° 023-2017-EM (Quispe, 2017). Semejantemente, en el ámbito internacional, en este caso en “Colombia, las actividades mineras subterráneas se rigen bajo el Decreto 1335 de 1987 el cual establece una serie de obligaciones que se deben cumplir para garantizar un control óptimo del ambiente en el interior de la mina” (González, & Jiménez, 2013, p.02).

En toda actividad minera subterránea se debe tener un ambiente laboral agradable con buenos estándares en ventilación, pues es de suma importancia para llevar a cabo trabajos en este tipo de minería, es por ello que el diseño del laboreo minero considera la ejecución de chimeneas cada 60 metros con la finalidad de tener un flujo adecuado de aire natural. El diseño del sistema de ventilación estará calculado de acuerdo a la cantidad de trabajadores que desarrollaran las actividades para permitir un flujo adecuado de aire al interior de la mina. (Mena, 2012, p.59).



En ese sentido Córdoba & Molina (2011) resaltaron que “la ventilación debe ser fundamental en toda mina, ya que es quien garantiza las condiciones necesarias para un óptimo entorno en término de las condiciones atmosféricas de la mina” (p.84). También enunciaron la importancia del estudio de un circuito de ventilación porque nos permitirá determinar la influencia de la ventilación natural y forzada en el dimensionamiento del sistema de ventilación Mina Limpe Centro- Unidad Minera Iscaycruz (Llano, 2017). Del mismo modo en la mina subterránea de la empresa minera Sotramin S.A. en su UEA Santa Filomena cuenta con un circuito de ventilación por tiro natural el cual permite la circulación de flujo de aire y que se torna variable en ciertas horas del día, debido a la variación de las temperaturas (Niño & Custodio, 2015, p.171).

En este contexto la planificación del sistema de ventilación natural o mecánica se debe realizar con la distribución adecuada del caudal de flujo de aire fresco en las labores y de esa manera minimizar la recirculación de aire viciado en las operaciones mineras (Vargas, 2014). Por eso “es necesario comunicar chimeneas principales hacia superficie que lleguen cerca a los tajos en explotación para evitar usar muchos ventiladores secundarios” (Duran, 2018, p.106). Cuando la ventilación natural es insuficiente es necesario la instalación de ventiladores mecánicos de capacidad

suficiente, de tal manera que cumplan el requerimiento mínimo de aire; de esta manera se mejora notablemente la ventilación en las labores (Sutty, 2016).

Finalmente Fuentes & Silva (2018) concluyeron que los dos sistemas de ventilación satisfacen las necesidades de caudal de aire para los trabajadores. En cuanto a la ventilación más adecuada en algunos sub niveles, es la ventilación natural ya que el costo es mucho menor a comparación de la ventilación mecánica. Pero la ventilación mecánica será mejor que la ventilación natural porque evita la recirculación de partículas en suspensión y disminuyendo tiempo al ventilar después de la voladura. Pero los costos son muy elevados en cuanto a la energía eléctrica.

Por todo lo anterior, en las explotaciones mineras la ventilación es fundamental para asegurar la continuidad y la seguridad de las diferentes actividades en interior mina, además de proporcionar una zona de trabajo segura y confortable para los trabajadores; cabe resaltar que a medida que las labores se profundizan, la ventilación natural ya no es suficiente para mantener el caudal y velocidad de flujo adecuados, es entonces cuando se recurre a la ventilación mecánica para mantener el oxígeno y los gases producidos durante la ejecución del ciclo de minado, dentro de los límites máximos permisibles en cumplimiento de la normatividad legal vigente.

En ese sentido el objetivo del presente artículo científico es realizar la comparación de las condiciones actuales de la ventilación natural y mecánica en la Unidad Minera Aurífera IV de Enero S.A. – Chala; de esta manera contribuir en la mitigación de los errores cometidos en el diseño y selección del método de ventilación en la minería convencional, que en muchas ocasiones desencadenan incidentes que cobran la vida de los trabajadores. Además, tiene como propósito facilitar a las empresas mineras, evaluar sus costos de ventilación entre la instalación de un ventilador mecánico o la construcción de una chimenea y así poder determinar cuál de ellos es más económico y favorable para el sistema de ventilación.

Es por todas estas razones la importancia de este artículo de investigación pues se pretende diferenciar claramente las ventajas y desventajas de la ventilación natural y mecánica, tanto en su aplicación, funcionamiento y costeo.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en la Unidad Minera Aurífera IV de Enero S.A., localizada en el distrito de Cháparra, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, su altitud media es de 1 930 m.s.n.m. y presenta aproximadamente las coordenadas UTM 8 263 000,00 (norte) y 618 500,00 (este). La mina actualmente tiene 250 m de profundidad y cuenta con 4 niveles, San

Martin, Victoria y Esperanza en explotación, y uno en desarrollo (Zona Piedra Grande), el presente artículo se realizó en el mes de octubre del año 2019 y se centra específicamente en la zona sur del nivel 1760 (Esperanza); es de carácter descriptivo ya que se analiza cada una de las variables para tener un resultado en un momento específico, es no experimental, porque no existe manipulación de las variables, y transversal porque los datos se recolectaron en un momento único y el propósito es describir las variables y se analiza los resultados; se toma como punto de partida la normatividad legal vigente del panorama minero nacional para la recolección de datos y para los cálculos necesarios, la siguiente tabla muestra las labores en donde se realizó el presente estudio.

**Tabla 1.** Labores de estudio

Nivel	Ubicación	Sección (m)	Área (m <sup>2</sup> )
1 760	Bocamina Esperanza	2,1 x 2,4	5,04
1 760	Crucero 788	2,1 x 2,4	5,04

**Equipos de medición:** Se utilizó el anemómetro DWYER, para la medición de temperatura y la velocidad del aire, en condiciones naturales, es decir sin la aplicación de ventilación mecánica.

**Normatividad legal:** En el Perú las actividades mineras deben tomar en cuenta establecer las condiciones óptimas de trabajo la ventilación de sus labores que deben estar de acuerdo a los requerimientos exigidos para cumplir con estándares establecidos vigentes en el D.S. N° 024-2016-EM y sus respectivas modificaciones del D.S. N° 023-2017-EM; lo más resaltante a considerar es que cuando las minas se encuentren hasta 1 500 m.s.n.m., en los lugares de trabajo la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de 3 m<sup>3</sup>/min, en otras altitudes la cantidad de aire será con la escala mencionada en la tabla 2; también en ningún caso la velocidad del aire será menor a 20 m/min en las labores de explotación, y cuando la ventilación natural no sea capaz de cumplir con los requerimientos mínimos exigidos, deberá emplearse ventilación mecánica, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares, según las necesidades.

**Tabla 2.** Variación de cantidad de aire según altitud.

Altitud (m.s.n.m.)	Aumento	Cantidad de aire
1 500 a 3 000	40 %	4 m <sup>3</sup> /min
3 000 a 4 000	70 %	5 m <sup>3</sup> /min
Mayor a 4 000	100 %	6 m <sup>3</sup> /min

**Fuente:** Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional (D.S. N° 024-2016-EM).

## Metodología empleada

La metodología empleada consistió primeramente en el reconocimiento del circuito de ventilación natural e identificación de equipos de ventilación mecánica con las que cuenta la mina, seguidamente se realizan mediciones de la velocidad y temperatura del aire tanto en la bocamina del nivel 1 760 y en diferentes puntos del crucero 788, y a partir de estos datos determinar el balance entre el ingreso y el requerimiento mínimo de aire en la labor, de este modo con un estudio económico seleccionar la aplicación de ventilación por medios naturales, mecánicos o combinados.

## Reconocimiento del circuito de ventilación

**natural:** Consiste en la identificación de labores subterráneas que forman parte del sistema de ventilación en la mina, especificando labores de entrada y salida de aire.

## Reconocimiento de equipos de ventilación:

Se identificó los equipos y accesorios mecánicos, los cuales suministran aire a las diferentes labores de estudio.

**Proceso de medición:** Se realizó para los datos de velocidad, temperatura, se toman diferentes puntos a fin de tener un dato promedio representativo, puesto que la velocidad en las labores varía conforme se aleja de las paredes del mismo. Se realizaron las mediciones en la

bocamina del nivel 1 760, y en diferentes puntos del crucero 788.

**Cálculo de caudal mínimo requerido:** se calcula a partir de cuatro factores como son la cantidad de hombres que trabajan por guardia, el número de equipos diésel que trabajan por guardia, la cantidad de explosivos utilizados en cada disparo y para mantener las condiciones ambientales. Para esto es necesario la aplicación de las siguientes formulas:

Por el número de personas por guardia (Q1): se calcula teniendo en cuenta la variación de cantidad de aire según la altitud.

$$Q1 = q * n$$

N: Número de personal

q: consumo de aire por persona

Por el uso de equipos diésel (Q2): la cantidad de aire circulante será no menor de 3 m<sup>3</sup>/min. Por cada Hp que desarrollan los equipos diésel, siendo esta:

$$Q2 = N * q$$

N: Número de equipos diésel

Q: Aire requerido por HP

Requerimiento de caudal por explosivos (Q3): A tratarse de minas metálicas es este método el que más se usa; se toma en cuenta la formación de productos tóxicos por la detonación de explosivos, el tiempo que se estima, para despejar las galerías de gases y la cantidad máxima permitida.

$$Q3 = \frac{G * E}{T * f}$$

G: Formación de gases en m<sup>3</sup> por la detonación de 1 kg de explosivo.

E: Cantidad de explosivo a detonar (kg.)

T: Tiempo de dilución en minutos

f: Porcentaje de dilución de los gases en la atmósfera. Estos deben ser diluidos a no menos de 0,008 %

Una de las limitaciones en el cálculo es referente a la cantidad de gases producidos por kg de explosivos usados en la mina; obligando a usar datos obtenidos en los experimentos realizados por terceros, en ese sentido 1 kg de explosivo puede generar 1,59x10<sup>-2</sup> m<sup>3</sup> de CO y 8,42x10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub>. (Torno & Susana, 2012).

**Caudal de aire total:** El caudal de aire total es el resultado de la suma del aire requerido.

$$Qt = Q1 + Q2 + Q3$$

**Balance final de requerimiento de aire:** Nos permite conocer la cobertura entre el ingreso, salida y requerimiento de aire.

**Estudio económico entre la ampliación de la chimenea y la compra e instalación de un ventilador:** se realizó para explicar el porqué de la selección de la ventilación ya sea por medios naturales o mecánicos, de esta manera permitirá a la empresa elegir la mejor opción

para brindar una ventilación de calidad a los trabajadores. En el sistema de ventilación existen conocimientos teóricos y prácticos que nos permiten evaluar los costos de la construcción de una chimenea y los costos de la compra, instalación, y mantenimiento de los

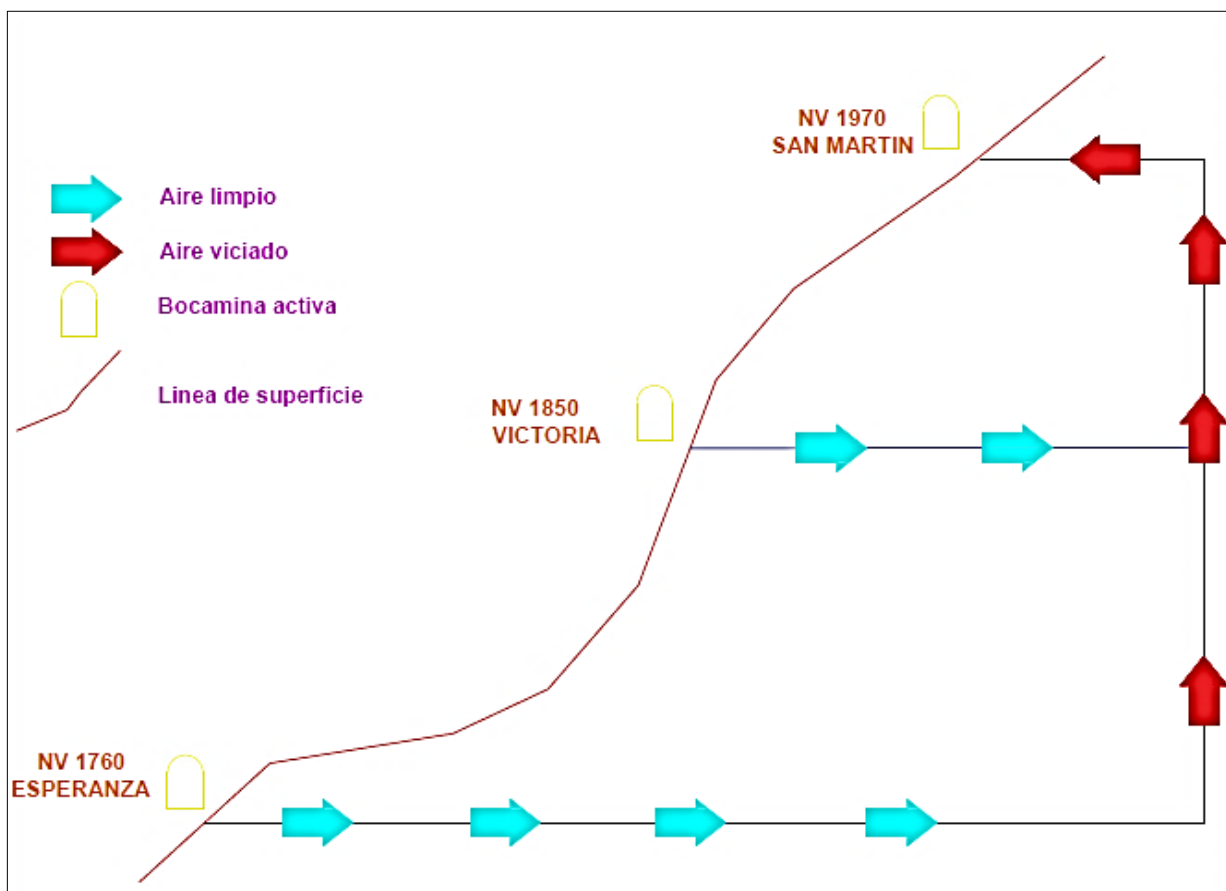
ventiladores; muchas veces en interior mina se deja de ejecutar labores por la problemática generada por una ventilación deficiente o porque los el desarrollo de la labor resultaba ser bastante costosas.

### III. RESULTADOS

#### Circuito de ventilación natural

La ventilación principal en la mina, se realiza de manera natural por medio de bocaminas, galerías, chimeneas, subniveles y las comunicaciones que existe entre las zonas, se observa en la figura 1 que el ingreso de aire fresco es por la bocamina del nivel 1 760 (Esperanza) y el nivel 1 850 (Victoria),

haciendo el recorrido por las diferentes labores del circuito principal, para ser extraído por medio de chimeneas hasta la región superior de la mina que tiene el objetivo de sacar el aire viciado de la región inferior, el cual lo extrae por la bocamina del nivel 1 970 (San Martin).



**Figura 1.** Circuito de ventilación natural MACDESA.

### Equipos de ventilación

Se realiza ventilación mecánica, introduciendo aire fresco a través de mangas que son generados por las turbinas eléctricas de 3,5 HP y 10 HP, los cuales son utilizados en diferentes labores por falta de ventilación ya que se trabaja en frentes, chimeneas, tajos donde todo el gas de la voladura se acumula y tarda días en ventilarse. Los equipos y accesorios de ventilación mecánica con las que cuenta la empresa, tanto para la ventilación secundaria y auxiliar son los siguientes.

**Tabla 3.** Equipos de ventilación de mina.

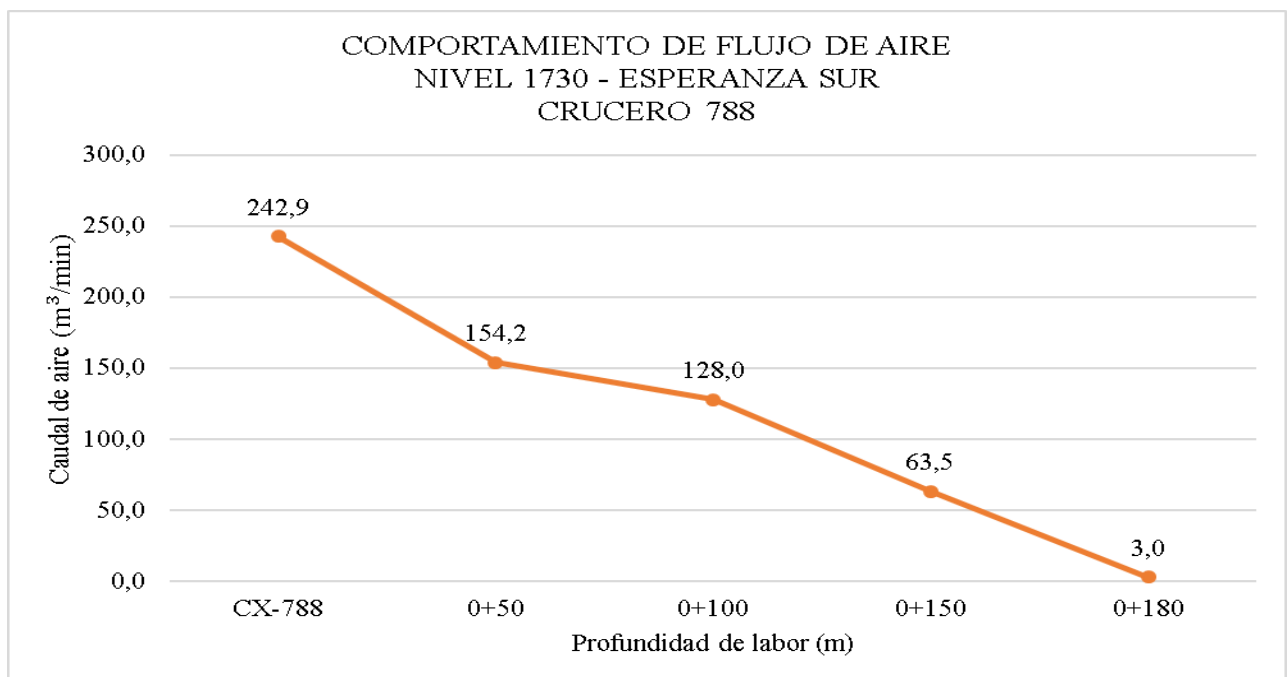
Equipo	Cantidad	Modelo	Marca
Turbinas eléctricas	8	60-IN	ALPHAIR
Turbinas eléctricas	6	-	Siemens

**Fuente.** Departamento de mecánica MACDESA.

Estos ventiladores se encuentran ubicados en la galería principal del nivel 1 760 (Esperanza), y frecuentemente se cambian de posición, a medida que se profundiza las labores o se abre una nueva labor. El aire producido por los ventiladores es transportado por medio de mangas de ventilación de lona, el cual está anclado al techo mediante una línea mensajera con sus respectivos tarugos.

### Velocidad de aire

La siguiente figura muestra las diferentes mediciones de velocidad, el cual está representado en el caudal presente en diferentes puntos del crucero 788, el cual tiene una sección de 5,04 m<sup>2</sup> y un avance de 180 m.



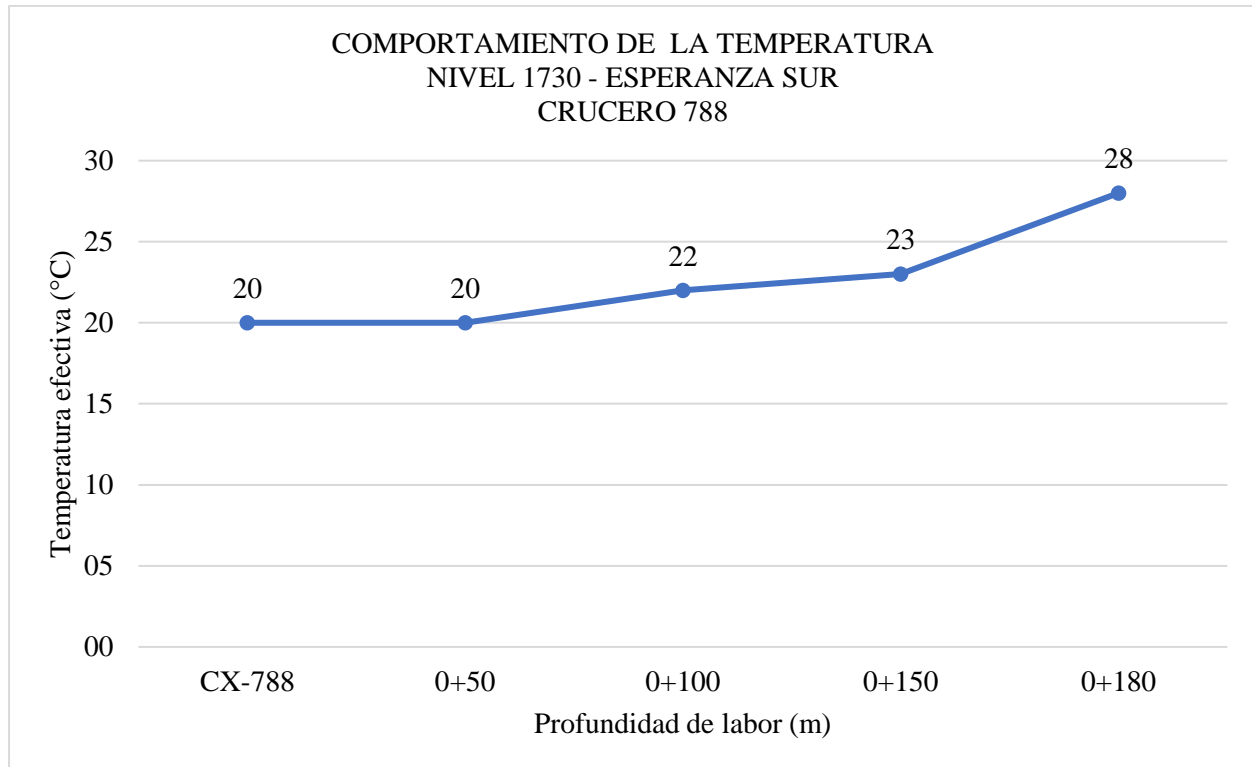
**Figura 2.** Variación de caudal de aire según profundidad de la labor.



El caudal que ingresa por la bocamina del nivel 1 760 es de 322,6 m<sup>3</sup>/min, el cual va disminuyendo a medida que recorre la galería principal de la zona sur con una sección de 5,04 m<sup>2</sup>, es así que en el punto 0+480 donde inicia el crucero 788, el caudal de aire presente es de 242,9 m<sup>3</sup>/m.

### Temperatura efectiva

En interior mina, en general la temperatura mantiene relativa estabilidad durante todo el año, con promedios que van de 15 °C a 24 °C de temperatura media.



**Figura 3.** Variación de caudal de aire según profundidad de la labor

### Caudal requerido

En la tabla 4 muestra el caudal requerido por un total de 9 trabajadores del crucero 788, considerando al operador de locomotora y ayudante, perforista, ayudante de perforista, peón, inspector de seguridad, capataz general y jefe de guardia; según variación ala altitud, se considera el volumen de aire de 4 m<sup>3</sup>/min por persona.

**Tabla 4.** Cálculo de Q1, por el número de personas.

N° trabajadores	Q total (m <sup>3</sup> /min)	Cfm
9	36,00	1 271,34

En la mina, no se utilizan equipos diésel, puesto que realiza sus operaciones de manera convencional, puesto que la perforación se realiza mediante el uso de perforadoras *jack*

leg, el carguío y transporte con pala neumática EIMCO y locomotoras IMIM acoplado con carros mineros U-35. Es por eso que no se realiza los cálculos para la caudal requerido por el uso de equipos diésel.

Para un total de 38 taladros cargados con explosivo dinamita SEMEXSA 65 % (1 1/8" x 8"), se utilizan 36,2 kg de explosivo por disparo, el cual genera monóxido de carbono y gases nitrosos; en la mina se considera un tiempo de ventilación es de 30 minutos aproximadamente con un porcentaje de dilución de gases en la atmosfera de 0,00002 % para NO<sub>2</sub> y 0,0025 % para el CO. A continuación, se obtienen los siguientes resultados.

**Tabla 5.** Cálculo de Q3, por el uso de explosivos.

Requerimiento de aire	Q (m <sup>3</sup> /min)	Q (Cfm)
Monóxido de carbono (CO)	7,67	270,94
Gases nitrosos (NO <sub>2</sub> )	507,71	17 929,60
<b>Total</b>	<b>515,38</b>	<b>18 200,54</b>

A partir de los cálculos anteriores se puede conocer el requerimiento del aire mínimo en total (Qt).

**Tabla 6.** Caudal de aire total requerido.

Factores	Q (m <sup>3</sup> /min)	Q (Cfm)
Q1	36,00	1 271,34
Q2	0,00	0,00
Q3	507,71	18 200,54
<b>Q total:</b>	<b>543,71</b>	<b>19 471,88</b>

### Balance final de requerimiento de aire

A partir de los datos obtenidos en los cálculos anteriores se realiza el balance final del requerimiento de aire y el caudal de ingreso de aire natural.

**Tabla 7.** Requerimiento y caudal de ingreso de aire natural.

	Caudal (m <sup>3</sup> /min)	Caudal (Cfm)
Caudal de aire requerido	543,71	19 471,88
Ingreso de aire	242,99	8 579,00
<b>Deficiencia</b>	<b>300,78</b>	<b>10 892,88</b>

En conclusión, se tiene una deficiencia de 300,78 m<sup>3</sup>/min, sobre todo para la ventilación de gases producidos por el uso de explosivos, por ende, se requiere de la construcción de chimeneas de ventilación o la instalación de un ventilador mecánico el cual cumpla con los requerimientos mínimos de ventilación.

### Estudio económico para la ampliación de una chimenea:

Los costos unitarios para la construcción de una chimenea de 50 m de longitud, con una sección de 1,2 m x 1,5 m, y un total de 23 taladros perforados, con una

longitud de perforación de 5 pies de los cuales 20 son cargados; según los estándares de la mina, son los siguientes:

**Tabla 8.** Costos unitarios para la construcción de una chimenea.

Descripción	Costo /metro (\$/m)
Mano de obra	48,53
Explosivos	27,53
Accesorios	32,05
Equipo de perforación	6,81
Herramientas y otros	10,76
Implementos de seguridad	5,09
Sub- total costos directos	130,76
Costos fijos	27,88
Compresora	56,00
<b>Total</b>	<b>214,65</b>

**Fuente:** Costos unitarios contrata Los Magníficos.

La construcción de la chimenea hasta el subnivel más próximo se termina en 20 días, siendo su costo total de \$ 10 732,32 que a un tipo de cambio de 3,4 asciende a la suma de S/. 36 489,90.

**Compra e instalación del ventilador:** se consideran los costos de compra del ventilador, mantenimiento del ventilador, costos por consumo de energía eléctrica y costo de mangas de ventilación.

**Tabla 9.** Datos para la compra del ventilador.

<b>Tipo de ventilador:</b>	Ventilador Modelo AVM-540 - 350 - 10 20 000 Cfm
<b>Potencia a 1 930 m.s.n.m. (kw)</b>	28,008
<b>Costo en (\$)</b>	5 858,87
<b>Costo en (S/.)</b>	19 920,158

**Fuente.** Departamento de mecánica MACDESA.

El mantenimiento del ventilador axial, lo realizan 1 electricista y 1 ayudante con una incidencia de 2,08 %, con un costo de \$ 64,75 incluidos el costo por implemento de seguridad y herramientas; se consideran 360 días trabajados por año, y un tipo de cambio a 3,40 se llega a resultado que el costo de mantenimiento del motor es de S/. 1 648,00 por año.

El costo por consumo de energía eléctrica para el ventilador que trabaja en promedio 5 horas por día energía a un costo de S/. 1,23 por kw-hora es de S/. 172,25 diario y el anual de S/. 62 009,71

Finalmente realizamos el cálculo del costo de la manga de ventilación, el cual de detalla a continuación.

**Tabla 10.** Costo por manga de ventilación.

<b>Diámetro de manga</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>P/U (\$)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
18"	100	4,2	420,00
Coto total S/.			1 386,00

En resumen y con fines comparativos se desarrolla la tabla 11, para su análisis respectivo, en función de los costos mensuales y anuales respecto al costo de compra e instalación de un ventilador.

**Tabla 11.** Resumen de costo mensual y anual.

<b>Descripción del costo</b>	<b>Mensual (S/.)</b>	<b>Anual (S/.)</b>
Compra del ventilador	19 334,27	19 334,27
Mantenimiento	133,33	1 600,00
Consumo de energía	5 167,47	62 009,71
Manga de ventilación	1 386,00	1 386,00
<b>Total</b>	<b>26 021,08</b>	<b>84 329,98</b>

Conocida el circuito de ventilación principal que es de tiro natural y los equipos de ventilación mecánica, podemos realizar el análisis de las ventajas y desventajas de la ventilación natural y mecánica respectivamente.

**Tabla 12.** Ventajas de la ventilación natural y mecánica.

<b>Ventilación natural</b>	<b>Ventilación mecánica</b>
Es la energía más barata y abundante en la naturaleza es el aire natural, que se utiliza en la ventilación para minas subterráneas. Permite el flujo natural de aire fresco al interior de una labor sin necesidad de equipos de ventilación. Se aprovecha los fenómenos de la naturaleza como son las variaciones de presión y temperaturas, para que la dirección y el movimiento del flujo de aire sea posible debido a las diferencias de presiones, entre la entrada y salida.	Es utilizada cuando la ventilación natural es insuficiente o no tiene la capacidad de mantener un espacio determinado en condiciones confortables. Haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello los circuitos de alimentación fresco y de evacuación del aire viciado. Se puede regular fácilmente y se puede obtener la cantidad de aire deseada.

---

Es la estrategia de enfriamiento pasivo más eficiente y de uso más extendido.	Disminuye el tiempo de ventilación del área de trabajo, de esta manera genera más horas de trabajo.
---	---

---

**Tabla 13.** Desventajas de la ventilación natural y mecánica.

---

<b>Ventilación natural</b>	<b>Ventilación mecánica</b>
<p>La variación de las temperaturas que ocurre entre el día y la noche, del verano a invierno, altera la continuidad del recorrido de aire.</p> <p>Los costos más elevados en el sistema de ventilación de la construcción de la chimenea mismo por el uso de explosivos y su tiempo de ejecución.</p> <p>Es un fenómeno de naturaleza inestable y fluctuante, en ninguna faena subterránea moderna debe utilizarse como un medio único y confiable para ventilar sus operaciones.</p>	<p>Esta ventilación requiere energía eléctrica, que puede ser producida a base del petróleo o de hidroeléctricas, esto significaría un elevado costo.</p> <p>Requiere personal especializado para el mantenimiento de equipos de ventilación.</p> <p>La depreciación en la compra del ventilador.</p>

---

## Discusión

En MACDESA la ventilación principal es por tiro natural, mientras que para la ventilación secundaria y auxiliar es utilizada la ventilación mecánica, esto ocurre porque los flujos por tiro natural no están bien definidos, debido a que la diferencia de altura entre los ingresos y las salidas del aire no es muy marcada, es decir no hay mucha diferencia de altitudes, debido a las características del yacimiento, sin embargo los ventiladores principales que están ubicados en superficie succionando aire usado, permite que funcione parcialmente la ventilación por tiro natural (Duran, 2018). También sucede que en

verano el aire en la chimenea se encuentra a menor temperatura que en la superficie y por lo mismo es más denso, ejerciendo presiones sobre el aire de las galerías (Niño & Custodio, 2015). En ese contexto en la mina subterránea de la empresa minera Sotramin S.A. en su UEA Santa Filomena cuenta con un circuito de ventilación por tiro natural el cual permite la circulación de flujo de aire y que se torna variable en ciertas horas del día, debido a la variación de las temperaturas. (Llano Caxi, 2017). También en la mina Limpe Centro, se trabaja con un máximo de 7 niveles de producción de un total de 31 niveles, utilizando para ello un sistema de ventilación



mixta con 2 ventiladores de 250 HP cada uno de ellos (uno impelente y el otro extractor , con un suministro de 142,500 cfm de aire a través de un sistema de ventilación forzada y 19,59 cfm como ventilación natural a través de una chimenea de servicio , los porcentajes de participación de cada tipo de ventilación es de 87.34 % y 12.66 % respectivamente (Niño & Custodio, 2015)

En el cálculo de aire mínimo requerido en interior mina se debe realizar de acuerdo con el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 024-2016-EM, así en el proyecto Inmaculada 4, que se encuentra a 4 415 m.s.n.m., el caudal será 6 m<sup>3</sup>/min por persona, además en interior mina se encontró trabajando 19 personas en total, es por eso que el caudal de aire mínimo requerido es de 114 m<sup>3</sup>/min. (Quispe, 2017). De igual manera se estima que para un total de 50 trabajadores en la UEA. Santa Filomena (Arequipa) a una altitud de 2 400 m.s.n.m., es necesario 200 m<sup>3</sup>/min de aire (Llano, 2017). En nuestro caso la altitud promedio es de 1 760 m.s.n.m., por eso se considera un caudal de 4 m<sup>3</sup>/min por persona.

Por todo lo anterior y de manera semejante con nuestro caso, Centeno (2011), respecto a la evaluación de ventilación natural en la galería principal de extracción de acuerdo con los datos obtenidos el caudal promedio es de 165,42 m<sup>3</sup>/min con una velocidad promedio de 50,28 m/min, se observa que está dentro del

Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional. El aire viciado es expulsado por las labores antiguas principalmente por la Chimenea Panca cuyo caudal es de 396.9 m<sup>3</sup>/min.

#### IV. CONCLUSIONES

Las condiciones actuales de la ventilación en la Unidad Minera Aurífera IV de Enero S.A – Chala, indican que la ventilación principal se realiza por tiro natural, de esta manera ingresa un flujo de aire de 322,6 m<sup>3</sup>/min, por la bocamina del nivel 1 760, realizando el recorrido por las diferentes labores del circuito principal, para ser extraído por medio de chimeneas hasta la región superior de la mina por la bocamina del nivel 1 970. Mientras que la ventilación secundaria y auxiliar se realiza por medios mecánicos, introduciendo aire fresco a través de mangas que son generados por las turbinas eléctricas de 3.5 HP y 10 HP (Siemens y ALPHAIR).

El comportamiento del caudal de aire en el crucero 788 de la zona sur del nivel 1 760, va disminuyendo, a medida que se profundiza el desarrollo de la labor, lo contrario sucede con el comportamiento de la temperatura; es por eso la deficiencia de 300,78 m<sup>3</sup>/min de aire, debido al requerimiento de mayor cantidad de aire para remover los gases y polvos producidos por el uso de explosivos, por consiguiente, es necesario la compra del



ventilador pues tiene un costo menor que asciende a S/. 26 021,08 a diferencia de la construcción de una chimenea que costaría S/. 36 489,90; además del tiempo de construcción e instalación en las que se diferencian; la desventaja es que los costos de ventilación mecánica son mayores, pues el ventilador necesita electricidad para funcionar.

### Agradecimientos

Mi especial agradecimiento a la Minera Aurífera IV de Enero S.A. por darme la oportunidad de trabajar y desarrollar todas mis cualidades como profesional, además de haberme brindado la oportunidad de realizar el presente trabajo de investigación.

### Referencias

- Córdoba, C. C., & Molina, J. M. (2011). Caracterización de sistemas de ventilación en minería subterránea. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, (29), 73–86.
- Duran, J. R. (2018). *Mejoramiento de la ventilación en la mina subterránea - mina Colquijirca CIA. de minas Buenaventura S.A.A.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Facultad de Ingeniería de Minas, Perú:Tesis de pregrado.
- Fuentes, E. & Silva, F. A. (2018). *Propuesta de análisis técnico comparativo entre la ampliación de una chimenea y un ventilador axial en un sub nivel de una mina subterránea, Cajamarca.* Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería de Minas, Perú:Tesis de pregrado.
- Llano, Y. (2017). *Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de minera SOTRAMI S.A. – UEA Santa Filomena – aplicando el software Ventsim.* Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Geología, Geofísica y Minas, Perú:Tesis de pregrado.
- González V. A. & Jiménez J. A. (2013). Cálculo de parámetros determinantes en la preparación de un circuito de ventilación en minería subterránea de carbón usando programación estructurada. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, (33), 155–162.
- Mena, A. (2012). *Planeamiento de minado subterráneo para vetas angostas: caso practico; mina “Esperanza de Caravelí” de Compañía Minera Titán S.R.L.* Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería, Perú:Tesis de pregrado.
- Niño, W. O., & Custodio, F. Q. (2015). *Influencia de la ventilación natural y forzada en el dimensionamiento del sistema de ventilación de la mina Limpe Centro-Unidad Minera Iscaycruz-provincia de Oyon-Lima.* Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería en Energía, Perú:Tesis de pregrado.



- Quispe, P. (2009). *Ventilación de minas subterráneas natural y mecánica*. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Perú:Tesis de pregrado.
- Quispe, E. (2017). *Caracterización y diseño del sistema de ventilación para mejora de la circulación del aire en el proyecto minero Inmaculada 4 – CIEMSA* . Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Perú:Tesis de pregrado.
- Sutty, J. A. (2016). *Influencia de la ventilación mecánica, en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 mina Urano S.A.C. – Puno* . Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Perú:Tesis de pregrado.
- Torno, S. (2012). Conventional and numerical models of blasting gas behavior in auxiliary ventilation of mining headings. *Tunneling and Underground Space Technology*, (21), 75-83.
- Vargas, O. (2014). *Diseño del circuito en un sistema de ventilación natural de la zona Gisela - mina Esperanza de Caravelí – Compañía Minera Titán del Perú S.R.L.* Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Perú:Tesis de pregrado.