

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE MINAS**



**T E S I S**

**Impacto del ventilador axial en la disipación de gases nocivos del  
Nivel 1200 – Mina Andaychagua, Volcan S.A.A. - 2020**

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero de Minas**

**Autor:**

**Bach. David Jesus CORNEJO SANTOS**

**Asesor:**

**Mg. Julio César SANTIAGO RIVERA**

**Cerro de Pasco - Perú - 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE MINAS**



**T E S I S**

**Impacto del ventilador axial en la disipación de gases nocivos del  
Nivel 1200 – Mina Andaychagua, Volcan S.A.A. - 2020**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Mg. Edwin Elías SANCHEZ ESPINOZA**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Vicente César DÁVILA CÓRDOVA**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA**  
**MIEMBRO**



**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**  
**Facultad de Ingeniería de Minas**  
**Unidad de Investigación**

**INFORME DE ORIGINALIDAD N°079-JUIFIM-2024**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

**Bachiller:** David Jesus, CORNEJO SANTOS

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería de Minas**

Tipo de trabajo:

**Tesis**

**Impacto del ventilador axial en la Disipación de Gases Nocivos del Nivel 1200 – Mina Andaychagua, Volcan S.A.A.-2020**

**Asesor:**

Ing. Julio César, SANTIAGO RIVERA

Índice de Similitud: 7%

Calificativo

**APROBADO**

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 06 de marzo 2024



Firmado digitalmente por AGUIRRE  
ADAUTO Agustín Arturo FAU  
20154605046 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 06/03/2024 15:22:35 -05:00

.....  
**Dr. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTO**  
JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

C.c.  
Archivo

## **DEDICATORIA**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento y dedicar todo mi esfuerzo y trabajo en la realización de esto a mis padres, con un amor y cariño inmensos. Sin la constante dedicación y apoyo de todos ustedes, lo que estoy logrando hoy no sería posible.

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo expresar el agradecimiento total a los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, quienes desempeñaron un papel crucial en mi desarrollo profesional y en la consecución de mis metas académicas. Especialmente, quiero agradecer al Mg. Edwin Sánchez Espinoza, Mg. Teodoro Santiago Almerco, Mg. Toribio García Contreras., Mg. Floro Zenteno Gómez, al Mg. César Dávila Córdova, y demás docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, así como a mi asesor y a los jurados calificadores, por su invaluable contribución que hizo posible la culminación exitosa de mi trabajo de tesis

## RESUMEN

La empresa minera UEA Andaychagua, operada por Volcán Cía. Minera S.A.A, se ha enfrentado a desafíos en el nivel -1200, específicamente en los frentes de explotación. Este problema se atribuye a deficiencias en la ventilación y a la acumulación de gases nocivos, los cuales representan riesgos para la salud de los trabajadores y el mantenimiento de los equipos.

Para abordar esta problemática, se ha optado por utilizar un ventilador axial como medida principal para mitigar los gases perniciosos. Esta elección se justifica por su fácil instalación y movilidad, permitiendo una respuesta inmediata a las necesidades del entorno laboral. La investigación tiene como objetivo general determinar cómo el ventilador principal de 60000 CFM de la marca Airtec influye en la mejora del caudal en los frentes, así como en la dilución de gases nocivos mediante el movimiento de las masas de aire. Esto, a su vez, busca mejorar la calidad y cantidad de aire en el ambiente de trabajo.

La metodología utilizada incluye un análisis documental, aplicando un enfoque estadístico y contrastando las hipótesis mediante el test estadístico T-Student. La información relevante fue proporcionada por el personal a cargo del área de ventilación de la Mina Andaychagua.

Los resultados finales revelan una correlación significativa entre las variables de estudio. Se observa una diferencia sustancial entre el caudal generado por el ventilador principal y los niveles de gases nocivos. La disminución porcentual promedio de gases nocivos fue del 3.47%, pasando de un 59.87% inicial a un 56.408% después de la influencia del ventilador principal de 60000 CFM de la marca Airtec. También se analizó la concentración de monóxido de carbono y dióxido de carbono, ambos perjudiciales para los trabajadores, mostrando una disminución positiva después de la implementación del

ventilador axial de 60 000 CFM, conforme a las normativas DS.024-2016-EM y su Modificatoria D.S. 023-2017-EM.

**Palabras clave:** Ventiladores Axiales, Ventilación de Minas, Contaminación del Aire, Contaminantes Gaseosos.

## ABSTRACT

The mining company UEA Andaychagua, operated by Volcán Cía. Minera S.A.A., has faced challenges at the -1200 level, specifically at the mining faces. This problem is attributed to deficiencies in ventilation and the accumulation of noxious gases, which pose health risks to workers and equipment maintenance.

To address this problem, an axial fan has been chosen as the main measure to mitigate harmful gases. This choice is justified by its ease of installation and mobility, allowing an immediate response to the needs of the work environment. The overall objective of the research is to determine how the Airtec brand 60000 CFM main fan influences the improvement of the flow rate at the fronts, as well as the dilution of harmful gases through the movement of the air masses. This, in turn, seeks to improve the quality and quantity of air in the work environment.

The methodology used includes a documentary analysis, applying a statistical approach and contrasting the hypotheses by means of the T-Student statistical test. The relevant information was provided by the personnel in charge of the ventilation area of the Andaychagua Mine.

The final results reveal a significant correlation between the study variables. A substantial difference is observed between the flow generated by the main fan and the levels of noxious gases. The average percentage decrease of noxious gases was 3.47%, going from 59.87% at the beginning to 56.408% after the influence of the Airtec 60000 CFM main fan. The concentration of carbon monoxide and carbon dioxide, both harmful to workers, was also analyzed, showing a positive decrease after the implementation of the 60000 CFM axial fan, according to the regulations DS.024-2016-EM and its Modifying D.S. 023-2017-EM.

**Key Words:** Main Fans, Mine Ventilation, Air Pollution, Gaseous Pollutants,



Mining Safety.

## INTRODUCCION

Esta investigación se centra en analizar la influencia del Ventilador Axial en la atenuación de gases perniciosos en el Nivel 1200 de la Mina Andaychagua, operada por Volcan SAA, durante el año 2019.

Se seleccionaron 18 puntos subterráneos como puntos de medición, donde se recopilaron datos previos y cuando se implementó las mejoras en caudal, velocidad y concentración de gases. Los resultados obtenidos favorecen al sistema de ventilación, ya que la reducción de gases nocivos no solo contribuye al bienestar de los trabajadores, sino que también disminuye el riesgo de accidentes por exposición a estos gases.

Al utilizar el ventilador principal de 60 000 CFM, se alcanzó a cubrir el 92.3% del caudal aceptable. Además, se observó un aumento en el porcentaje de oxígeno (O<sub>2</sub>) de 19.20% a 19.752%, junto a una reducción del contenido del monóxido de carbono de 12,31 ppm a 2,78 ppm.

Por qué con los datos obtenidos en la investigación el uso del ventilador principal de 60 000 CFM mejora significativamente las condiciones laborales en el ambiente de trabajo. La investigación demuestra una alta correlación entre el uso de este ventilador y la dilución efectiva de gases nocivos, beneficiando la salud y seguridad de los trabajadores.

## INDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCION	
INDICE	
INDICE DE FIGURAS	
INDICE DE TABLAS	

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la Investigación.....	3
1.3. Formulación del Problema .....	3
1.3.1. Problema general .....	3
1.3.2. Problemas específicos.....	4
1.4. Formulación de Objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	4
1.5. Justificación de la Investigación .....	4
1.6. Limitaciones de la Investigación.....	5

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio .....	6
2.2.1. Nivel Internacional .....	6
2.1.2. Nivel Nacional .....	10
2.2. Bases Teóricas – Científicas .....	14
2.2.1. Ventilación Minera .....	14
2.2.2. Importancia de la Ventilación Minera .....	16
2.2.3. Complejidad de la Ventilación en una Mina: Retos y Problemas Asociados.....	19
2.2.4. Legislación sobre Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.....	21
2.2.5. Composición y Contaminación del Aire en Minería: .....	24

2.2.6. Factores Clave en Ventilación de Mina: .....	27
2.2.7. Instrumentos para medir la ventilación.....	29
2.2.8. Circuitos Básicos de Ventilación de Minas .....	43
2.2.9. Caída de Presión .....	44
2.2.10. Pérdidas de Presión.....	44
2.2.11. Presiones en una Mina .....	45
2.2.12. Clasificación de ventiladores .....	49
2.2.13. Leyes de los ventiladores .....	52
2.2.14. Ubicación de la Mina Andaychagua.....	54
2.2.15. Minería.....	58
2.3. Definición de términos básicos .....	60
2.4. Formulación de Hipótesis .....	66
2.4.1. Hipótesis general.....	66
2.4.2. Hipótesis Específico .....	66
2.5. Identificación de variables .....	67
2.5.1. Variables Independiente .....	67
2.5.2. Variable Dependiente .....	67
2.5.3. Variable Interveniente .....	67
2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores .....	67

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. Tipo de Investigación.....	69
3.2. Nivel de investigación.....	70
3.3. Métodos de Investigación .....	70
3.4. Diseño de Investigación.....	71
3.5. Población y muestra.....	72
3.5.1. La población .....	72
3.5.2. La Muestra .....	72
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	73
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	74
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	74
3.9. Tratamiento Estadístico.....	74

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica .....	75
---	----

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo .....	77
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	77
4.3. Prueba de Hipótesis.....	85
4.4. Discusión de Resultados .....	101

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Manómetro de tubo en U .....	30
<b>Figura 2.</b> Tubos de 4, 6, y 8 mm.....	32
<b>Figura 3.</b> Colocación del tubo Pitot.....	35
<b>Figura 4.</b> Colocación del tubo Pitot 2.....	35
<b>Figura 5.</b> Aplicación del tubo Pitot .....	35
<b>Figura 6.</b> Selección de los puntos de medida con el tubo de Pitot en la sección de un conducto .....	36
<b>Figura 7.</b> Cargos equivalentes en pies (le) para varias fuentes de pérdida por choque (Le en pies).....	48
<b>Figura 8.</b> Ventilador axial.....	50
<b>Figura 9.</b> Ventilador centrifugo .....	50
<b>Figura 10.</b> Esquema de ventiladores principales, secundarios y auxiliares.....	51
<b>Figura 11.</b> Variación del diámetro.....	53
<b>Figura 12.</b> Variación de varios parámetros .....	54
<b>Figura 13.</b> Unidad minera Andaychagua-Volcan SAA.....	55
<b>Figura 14.</b> <i>Plano No.1: de Ubicación unidad minera Andaychagua-Volcan SAA</i> <i>Geología</i> .....	55
<b>Figura 15.</b> Reservas .....	58
<b>Figura 16.</b> Base de datos Exel: NIVEL-1200 Mina Andaychagua, VOLCAN S.A.A..	78
<b>Figura 17.</b> Método de Mitades Partidas (split-haves).....	78
<b>Figura 18.</b> División de muestra para método Split halves.....	79
<b>Figura 19.</b> Grado de correlación para ambos grupos 1.....	79
<b>Figura 20.</b> Grado de correlación para ambos grupos 2.....	80
<b>Figura 21.</b> Interpretación del coeficiente de confiabilidad.....	80

<b>Figura 22.</b> Análisis Cuantitativo porcentaje de gases nocivos medición inicio y final.	81
<b>Figura 23.</b> Tabla del ventilador axial y gases nocivos .....	82
<b>Figura 24.</b> Valor y Significado Tabachnick .....	88
<b>Figura 25.</b> Gráfico de correlación ventilador axial vs gases nocivos .....	90
<b>Figura 26.</b> Campana de Gauss para Hipótesis General .....	91
<b>Figura 27.</b> Comparativos de gases nocivos inicialmente y al final .....	92
<b>Figura 28.</b> Campana de Gauss para Hipótesis Especifica 1 .....	95
<b>Figura 29.</b> Comparativo de monóxido de carbono inicial y monóxido de carbono final .....	96
<b>Figura 30.</b> Campana de Gauss para Hipótesis específica 2. ....	99
<b>Figura 31.</b> Comparativo de dióxido de carbono inicial y dióxido de carbono final....	100

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Errores en función de la velocidad del tubo de Pitot.....	34
<b>Tabla 2.</b> Tabla del Coeficiente de Fricción (K) .....	46
<b>Tabla 3.</b> Operacionalizacion de la variable independiente .....	67
<b>Tabla 4.</b> Operacionalización de Variable Dependiente .....	68
<b>Tabla 5.</b> Prueba de Normalidad para Hipótesis General .....	83
<b>Tabla 6.</b> Valores de significancia de la prueba la prueba de Shapiro-Wilk.....	83
<b>Tabla 7.</b> Prueba de Normalidad para Hipótesis especifica 1 .....	84
<b>Tabla 8.</b> Valores de significancia de la prueba la prueba de Shapiro-Wilk.....	84
<b>Tabla 9.</b> Prueba de Normalidad para hipótesis Especifica 2 .....	85
<b>Tabla 10.</b> <i>Valores de significancia de la prueba la prueba de Shapiro-Wilk</i> .....	85
<b>Tabla 11.</b> Prueba de Normalidad para Hipótesis General .....	86
<b>Tabla 12.</b> <i>Prueba de normalidad vs significancia</i> .....	86
<b>Tabla 13.</b> Prueba de correlación de las variables.....	87
<b>Tabla 14.</b> Tabla descriptivos.....	88
<b>Tabla 15.</b> Correlaciones de muestras emparejadas .....	90
<b>Tabla 16.</b> <i>Prueba de T Student para Hipótesis General</i> .....	91
<b>Tabla 17.</b> Prueba Estadística gases nocivos inicialmente y gases perniciosos luego de la influencia del ventilador principal.....	92
<b>Tabla 18.</b> Prueba de Normalidad para Hipótesis especifica 1 .....	94
<b>Tabla 19.</b> <i>Prueba de normalidad vs significancia</i> .....	94
<b>Tabla 20.</b> Prueba de T Student para Hipótesis Especifica 1 .....	94
<b>Tabla 21.</b> Se muestran Emparejadas y Medias para Hipótesis Especifica 1 .....	96
<b>Tabla 22.</b> <i>Prueba de Normalidad para hipótesis Especifica 2</i> .....	98
<b>Tabla 23.</b> <i>Prueba de normalidad vs significancia</i> .....	98



<b>Tabla 24.</b> Prueba T Student para Hipótesis específica 2 .....	99
<b>Tabla 25.</b> Muestras emparejadas de la hipótesis específica 2.....	100

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

La mina subterránea Andaychagua se encuentra en la región central de Perú, a aproximadamente 180 km al sureste de la ciudad de Lima, en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales. Específicamente, está ubicada en el distrito de Huayhuay, provincia de Yauli-La Oroya, departamento de Junín, cuya altitud media donde esta es 4,600 metros sobre el nivel del mar.

La empresa propietaria de la mina es Volcan Compañía Minera S.A.A. (VOLCAN), que conforma parte del Grupo GLENCORE. Andaychagua es un depósito hidrotermal de alcance hipo a epitermal, productor de plomo (Pb), zinc (Zn) y plata (Ag). El método principal de explotación utilizado en la veta Andaychagua es el "corte y relleno descendente" (Underhand Cut and Fill – UHC&F), que es único en el mundo debido a sus características particulares, como losas de hasta 17 metros de luz.

Recientemente, se ha implementado el método "tajeos por subniveles" (Sublevel Stopping – SLS) con taladros largos y relleno cementado en otros

cuerpos mineralizados. La planta de beneficio procesa diariamente 2,700 toneladas de mineral.

En los últimos años, DCR Ingenieros S.R.Lltda. (DCR) ha llevado a cabo diversos trabajos geomecánicos, como la evaluación de la situación del minado hasta el año 2010, la evaluación de la estabilidad de las losas de relleno cementado bajo las cuales se realiza el minado descendente (2015), la evaluación geomecánica del Plan de Minado 2016, la evaluación geomecánica de la situación del minado hasta 2018, el diseño geomecánico del minado subterráneo del cuerpo mineralizado Prosperidad 1 y el diseño geomecánico del minado subterráneo del cuerpo mineralizado Salvadora (2019).

Además, DCR ha proporcionado servicios geomecánicos a otras minas y proyectos del Grupo VOLCAN – GLENCORE, incluyendo minas como San Cristóbal, Carahuacra, Ticlio, Alpamarca, Animón y proyectos como Romina 2, Puagjanca y Palma.

En cualquier tipo de labor que implique excavaciones subterráneas, como la creación de túneles o la extracción de minerales, se hace necesario proveer de aire limpio que contenga un mínimo nivel posible de contaminantes. Esto es importante para que se realice cualquier actividad de manera efectiva cualquier actividad subterránea, independientemente de la ubicación geográfica. Dentro de países de Latinoamérica, las políticas relacionadas con la minería subterránea son rigurosamente controladas, adoptando normativas y límites máximos permisibles (LMP) de calidad y cantidad de aire que ingresan dentro la mina.

Actualmente la minería emplea equipos diésel de bajo perfil, explosivos, personal de trabajo y otros factores, los cuales producen y liberan enormes cantidades de gases dañinos para la salud, siendo estos inclusive gases y polvo

que se producen de forma natural dentro la minería. El Perú es un país con importante actividad minera, se siguen estas normativas de seguridad y salud ocupacional, específicamente el Decreto Supremo Nro. 024-2016-EM. Estas normas tienen como objetivo prevenir y controlar accidentes que podrían ocasionar daños a los trabajadores, al medio ambiente y a los procesos de trabajo en la UEA Andaychagua de Volcán Compañía Minera S.A.A.

## **1.2. Delimitación de la Investigación**

La delimitación de esta investigación se enfoca en optimizar los parámetros de avance en la Mina Andaychagua, específicamente en el Nivel 1200, propiedad de la Compañía Minera Volcan SAA S.A.A. Esta mina está ubicada a 186 km de la ciudad de Lima, en dirección a la Oroya, dentro del distrito minero de Yauli, provincia de Yauli, Departamento de Junín. La distancia desde la Oroya hasta la Mina Andaychagua es de 51.80 km.

Los parámetros que se buscan optimizar son el factor de avance, la longitud de avance y la eficiencia de la voladura. La investigación se centra específicamente en las operaciones de ventilación en el Nivel 1200, reconociendo su importancia en el contexto de la minería subterránea. Este enfoque permitirá una comprensión más detallada de cómo los factores de avance y la eficiencia de la voladura se ven afectados y pueden ser mejorados a través de medidas específicas de ventilación en dicho nivel de la mina.

## **1.3. Formulación del Problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿De qué manera la presencia y operación del ventilador axial contribuyen a mitigar la concentración de gases dañinos en el Nivel -1200 de la Mina Andaychagua, operada por Volcan SAA, durante el año 2019?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿De qué manera el ventilador axial tiene un impacto significativo en la dilución de la concentración de monóxido de carbono y otros gases perniciosos en el Nivel -1200 de la Mina Andaychagua, operada por Volcan SAA, durante el año 2019?
- ¿Cuánto influye la concentración de dióxido de carbono en la dilución de gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA? - 2019?

## **1.4. Formulación de Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar cómo influye el ventilador axial en la dilución de gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA. - 2019

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Calcular la concentración de monóxido de carbono en la dilución de gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA. - 2019
- Medir la concentración de dióxido de carbono en la dilución de gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA. - 2019

## **1.5. Justificación de la Investigación**

La investigación surge de la necesidad de implementar instrumentos de investigación para recopilar datos y abordar el problema de la influencia del ventilador axial en la calidad del aire en las operaciones mineras, específicamente en el Nivel -1200 de la UEA Andaychagua de Volcan Cía. Minera S.A.A durante el año 2019. Este enfoque se extiende a otras unidades de producción minera en el país que enfrentan problemas similares.

La urgencia de encontrar una solución radica en la mejora de la ventilación, visando en que se cree un entorno seguro para las personas que trabajan en el interior de la mina. A medida que las labores de producción se profundizan, surge una deficiencia en la ventilación natural existente, que no cumple con los requisitos necesarios basado por ejemplo a los equipos diésel, número de personas, elevadas temperaturas para el Nivel-1200, gases para voladura, principalmente sobre los tajeos de producción.

Es propuesto aquí a que se mejore el flujo de ventilación por cuatro razones fundamentales:

- Garantizar el suministro adecuado de oxígeno, para que puedan respirar los trabajadores.
- Diluir y dispersar gases nocivos que se encuentran en la mina.
- Disminuir la concentración del polvo suspendido.
- Minimizar las elevadas temperaturas en las labores dentro de la mina.

Esta propuesta está respaldada por la legislación minera, como la Ley General de Minería y el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional DS-024-2016-EM, que establecen la responsabilidad del titular de la actividad minera para proporcionar aire limpio y mantener condiciones ambientales seguras, basado a los límites de exposición ocupacional en función a agentes químicos.

#### **1.6. Limitaciones de la Investigación**

Durante la ejecución de este estudio, se encontraron mínimas limitaciones en la recopilación de datos. Gracias a la colaboración y las facilidades proporcionadas por la Superintendencia y la Gerencia de la Empresa Minera, se obtuvo acceso sin restricciones a la base de datos y al personal experto, facilitando así la obtención de la información necesaria para la investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.2.1. Nivel Internacional**

Xu, Huang, Nie, Chalmers, & Yang (2018) “La planificación eficaz de la ventilación es vital para la minería subterránea”. Para garantizar un funcionamiento estable del sistema de ventilación y evitar el desorden del flujo de aire, los modelos de red de ventilación de minas (MVN) se han utilizado ampliamente en la simulación y optimización del sistema de ventilación de minas. Sin embargo, uno de los retos de la simulación de modelos MVN es que los resultados de la distribución del flujo de aire simulado no coinciden con los datos medidos. Para resolver este problema, se propone un método de calibración sencillo y eficaz basado en el algoritmo de optimización no lineal. El modelo calibrado no sólo hace que los resultados de la distribución del flujo de aire simulado coincidan con los datos medidos in situ, sino que también controla los errores de otros parámetros dentro de un rango mínimo. A continuación, el método propuesto se aplicó para calibrar un modelo MVN en un caso real, que se

construye a partir de los resultados de la encuesta de ventilación y el software Ventsim. Por último, se llevan a cabo experimentos de simulación de flujos de aire utilizando respectivamente datos anteriores y posteriores a la calibración, cuyos resultados se compararon y analizaron. Esto demostró que los flujos de aire simulados en el modelo calibrado concordaban mucho mejor con los datos del estudio de ventilación, lo que verifica la eficacia del método de calibración.

Teodosiu, Ilie, & Dumitru (2016) “Evaluación de la eficacia de la ventilación en situaciones de emergencia en sistemas de metro mediante modelos CFD”. El sistema de ventilación es el componente estratégico de los sistemas de metro cuando se producen incidentes con humo denso en los túneles. Por consiguiente, el objetivo de este estudio es investigar la eficacia de la ventilación en uno de los escenarios de emergencia más graves: tren incendiado (tasa máxima de liberación de calor que alcanza los 30 MW debido a un incendio ultrarrápido) y detenido en el túnel, incidente que requiere la evacuación de los pasajeros. Se tienen en cuenta dos estrategias de ventilación: el sistema de ventiladores del túnel (planta de ventiladores a mitad del túnel situada en una construcción independiente) junto con la ventilación mecánica de las estaciones y plantas de ventiladores al final de las estaciones junto con la ventilación mecánica de las estaciones. El análisis es realizado a través de un modelo de dinámica de fluidos computacional (CFD), el cual propone un enfoque original basado en la introducción de términos fuente en las ecuaciones de conservación de la energía, el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), con el fin de tratar el calor, el CO y el CO<sub>2</sub> debidos al fuego. Las ecuaciones que expresan la conservación del CO y el CO<sub>2</sub> se añaden especialmente a las ecuaciones básicas que rigen un flujo de aire turbulento no isotérmico en el modelo CFD. Este



método permitió alcanzar valores de velocidad, temperatura y concentraciones de CO y CO<sub>2</sub> en todo el dominio computacional. Además, la metodología de modelado y simulación se ajusta fielmente al funcionamiento real de los sistemas de ventilación investigados en condiciones normales y de emergencia (incendio). Los resultados muestran que las dos alternativas de ventilación consideradas conducen a una evacuación segura de los pasajeros durante todo el tiempo de simulación. El proceso de evacuación hacia la estación más cercana no se ve perturbado en absoluto por velocidades del aire demasiado altas, temperaturas elevadas o concentraciones críticas de CO o CO<sub>2</sub>.

Krasyuk, Lugin, & Alferova (2016) “Evaluación de los diagramas de flujo de ventilación para túneles de metro de doble línea sin cámaras de aire”

Los autores inspeccionan el funcionamiento del sistema de ventilación en un túnel de metro de doble vía. Se comprueba que los caudales de aire necesarios para los túneles y las estaciones de pasajeros difieren mucho. Para los modos de funcionamiento rutinarios en túneles de metro, los autores evalúan el diagrama de flujo de ventilación longitudinal sin cámaras de aire de estación a estación, lo que disminuye considerablemente el coste de construcción de la infraestructura de ventilación del metro. Se determinan las fluctuaciones de presión estática en las caras exteriores de los trenes que circulan por un túnel en direcciones opuestas. Para los modos de funcionamiento de emergencia de la ventilación de túneles de metro, en caso de incendio de un tren en un túnel, los autores evalúan un diagrama anterior y posterior de eliminación de humos. Se determina la concentración de emisiones tóxicas debidas a los humos en el trayecto de evacuación de un tren averiado. Se propone instalar pantallas longitudinales en los túneles para

garantizar concentraciones seguras de CO y CO<sub>2</sub> en el trayecto entre un tren averiado y una estación.

Cheng, Ueng, T.H, & Liu (2001) “Simulación de ventilación e incendio en las instalaciones subterráneas” En este artículo se presenta un modelo revisado de simulación de incendios y evacuación, MFIRE. El modelo proporciona información para configurar un sistema de ventilación de emergencia, establecer procedimientos de seguridad y minimizar los daños en los sistemas de redes subterráneas. MFIRE simula la interdependencia entre el sistema de ventilación y sus correspondientes ventiladores y estructuras, así como modificaciones en las condiciones ambientales y fuente de calor. Se realizó una simulación de incendio en laboratorio en una pequeña red física de túneles para verificar el MFIRE. Las tasas de flujo de aire y la distribución de la temperatura en cada túnel se comparan con los resultados simulados obtenidos por MFIRE. En lo que respecta al flujo de aire, las tasas experimentales se correlacionan muy bien con los resultados simulados. Debido a la reducida escala física del modelo de laboratorio, las distribuciones de temperatura simuladas no se corresponden del todo con los datos de laboratorio. MFIRE se emplea para simular un hipotético conato de incendio en el Sistema de Tránsito Rápido Masivo de Taipei. La simulación está diseñada para investigar la dirección y la velocidad del flujo de aire, la distribución de la temperatura y las respuestas de ventilación de emergencia. Los resultados han confirmado que el modelo de ventilación "push-pull" propuesto puede evacuar eficazmente el aire a alta temperatura y el humo de las instalaciones subterráneas una vez declarado el incendio.

Hebda Sobkowicz, Gola, Zimroz, & Wyłomańska (2019) “Patrón de H<sub>2</sub>S concentración en una mina de cobre profunda y su correlación con el programa

de ventilación”. La evaluación de la calidad del aire en una mina subterránea de gran profundidad constituye todo un reto. Es un proceso que varía con el tiempo y depende de varios factores, principalmente de procesos tecnológicos como voladuras, aire acondicionado, ventilación, funcionamiento de las máquinas, así como de los gases liberados por la masa rocosa y la humedad. La calidad del aire debe controlarse y analizarse para comprender el proceso en la medida de lo posible con el fin de facilitar el trabajo del minero y mejorar su seguridad. Uno de los parámetros más críticos de la calidad del aire en la mina considerada es la concentración de sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ). Está relacionada con la geología del yacimiento, por lo que cabe esperar la naturaleza aleatoria de las concentraciones de gas  $H_2S$ . En este trabajo, nos centramos en el análisis de la concentración basado en la monitorización a largo plazo. Se ha propuesto un procedimiento de segmentación de señales para datos brutos, se han visualizado los datos segmentados (patrones diarios) y finalmente se han analizado estadísticamente. Se ha descubierto que existen componentes deterministas en la variación de los datos, que dependen en gran medida de la ventilación. variación de los datos, que dependen en gran medida de los regímenes de funcionamiento de la ventilación. Esto puede servir de base para un análisis posterior de los datos y para controlar la calidad del aire en la mina de una manera más eficaz.

### **2.1.2. Nivel Nacional**

**Rueda, Toro, & Zuleta (2012) “Optimización del sistema de ventilación en una mina de gran altura, Compañía Minera Raura”.** La empresa minera está situada a una altitud de 4700 m.s.n.m entre los departamentos de Huánuco y Lima, en Perú, se dedica a la extracción de Pb, Ag, Cu, y Zn utilizando diversos métodos como Corte y Relleno ascendente, Taladros

Largos y "Sublevel Open Stopping". Con 50 años de experiencia, la mina se extendió alrededor de 200 km de túneles y con aproximadamente 200 chimeneas ubicados a diversos niveles y superficies, haciendo que se cree un sistema complejo de ventilación.

Para mejorar la eficiencia del sistema de ventilación, se logró proponer un plan de optimización, tomando en cuenta la redistribución por circuitos, desarrollar chimeneas de por lo menos 4 m de diámetro en cada circuito, el sistema de redistribución, y que se adquirió ventiladores con capacidad de proveer el caudal total de alrededor de 700 m<sup>3</sup>/s. Este proyecto se lleva a cabo en tres estadios: diagnóstico, optimización e implementación.

En la etapa de diagnóstico, es evaluado el estado actual de la ventilación a través de mediciones hechas en campo como el flujo de aire, condiciones ambientales y operación de los ventiladores. En la etapa de optimización, se analizan diferentes alternativas de redistribución del flujo y la ubicación de nuevas chimeneas y ventiladores. Para realizar estas evaluaciones, se utilizan herramientas avanzadas de simulación computacional, como el software Ventsim Visual Avanzado que permite simular los circuitos de ventilación, y ANSYS CFX para simular patrones complejos de flujo.

Mena Salas (2013) "**Planeamiento de minado subterráneo para vetas angostas: caso práctico; mina "Esperanza de Caravelí" de Compañía Minera Titán S.R.L.**". En esta tesis, se lleva a cabo un análisis económico detallado de un negocio minero, utilizando como caso práctico la mina aurífera Esperanza, ubicada en la zona sur del Perú y propiedad de la empresa minera Titán del Perú S.R.L. El estudio se centra en evaluar la viabilidad económica de incrementar la producción en un 30%, incorporando la veta Dulce en la zona

Coila, además de mantener la extracción de minerales de las zonas Aurora (veta Aurora) y Gisela (vetas Gisela y Carmen).

Se planifica aumentar gradualmente la producción mensual en 2012 para alcanzar la capacidad instalada de la planta de beneficio (6,000 toneladas/mes). En los años 2013 y 2014, se contempla mantener esta producción y priorizar los trabajos exploratorios, considerando la existencia de 09 vetas adicionales que podrían ser fundamentales para proyectos futuros.

El trabajo comienza con un análisis geológico local del yacimiento, a continuación, se actualizan las reservas y recursos. Es presentado de forma resumida estudios geomecánicos y se diseñe el método de minado de Corte y Relleno Ascendente. Es abordado aspectos de ventilación debido a las altas temperaturas en la zona y se detallan los equipos y servicios auxiliares necesarios.

Usando la información técnica, se establece un programa de avances y producción para cubrir la demanda de la planta de beneficio. Luego, se valora este programa tomando en cuenta el precio del mercado referente a los diversos metales, haciendo se obtengan ingresos por ventas de concentrado y Doré. Partiendo de los ingresos y costos calculados, es llevado a cabo la evaluación económica de la mina Esperanza, determinando el Cash Cost para entender el margen operativo de la empresa.

Además, se analizan las inversiones (Capex) necesarias para que se alcancen los objetivos planteados. Y por último, es realizado un análisis de sensibilidad unidimensional, para extraer conclusiones y recomendaciones en función de los resultados encontrados en este exhaustivo análisis económico de la operación minera.

Lozano Soto (2019) **“Desarrollo de una chimenea de ventilación en una mina ubicada al centro del Perú aplicando el sistema Raise Boring”**. Este análisis se llevó a cabo en la Compañía Minera Casapalca S.A., ubicada en el distrito de Chicla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, a 4,200 m.s.n.mr. Esta mina genera alrededor de 5,000 ton métricas de mineral cada día, el cual genera concentrados de Zn, Pb, Cu, que poseen contenidos de Ag que se obtiene como subproducto de los concentrados de Pb y Cu.

“Incremento de capacidad de ventilación en zonas de Cuerpos en Cía. Minera Casapalca S.A.”. La mina subterránea se divide en 3 zonas: Cuerpos, Esperanza y la Oroya, cuya producción diaria de mineral para cada una se distribuye un 79%, 8% y 13%, respectivamente. La operación necesita un caudal diario de aire fresco de 1,015,113 pies cúbicos por minuto (cfm). Actualmente, la entrada de aire fresco es de 538,009 cfm, mientras que la salida de aire viciado es de 569,543 cfm, lo que representa solo el 53% de la cobertura de aire requerida.

Ante esta situación, se realizó un estudio con el objetivo de desarrollar un plan de mejora de la ventilación en la zona de Cuerpos de la Compañía Minera Casapalca S.A. Este enfoque se debe principalmente a que el 79% de la producción diaria de mineral se concentra en esta área, que utiliza equipos a diésel como volquetes, Jumbos, scooptrans, volquetes, u otros.

El problema de falta de suministro de aire fue realizado un análisis de la cantidad de aire necesaria, donde se hizo un balance de materia entre la entrada y salida de aire. Como solución, se propuso construir un RB 02 que comprenda la superficie al nivel 10, de longitud 502.4 m y diámetro de 3.6 m. Esto permitirá lograr una cobertura del 97%, superando la dificultad actual en el suministro de aire fresco necesario para la operación minera.

**Ureta Molina (2019) “Instalación del sistema de ventilación del túnel de conducción subterráneo de minas - Minera Milpo Andina”.**

Recientemente, hemos experimentado un crecimiento significativo en nuestra plataforma de trabajo dedicada a la ventilación subterránea. Esto se debe a la incorporación de representaciones detalladas de los ventiladores en cada procedimiento durante la optimización del sistema de ventilación. En entornos mineros y túneles subterráneos, la ventilación es crucial no solo para proporcionar oxígeno a los trabajadores, asegurando su bienestar y el correcto funcionamiento de sus equipos, sino también para gestionar la presencia de diversos gases tóxicos, asfixiantes y explosivos, dependiendo de los tipos de rocas y maquinarias utilizadas.

Los ventiladores desempeñan un papel fundamental al impulsar una corriente de aire en la mina subterránea, asegurando así una atmósfera segura. Estos dispositivos, conocidos como turbomáquinas, están diseñados para comprimir un fluido compresible, en este caso, el aire. El proyecto actual tiene como objetivo proponer un diseño integral del sistema de ventilación, incluyendo los ductos correspondientes, y abordar la manipulación eficiente de varios equipos. Además, se enfoca en estrategias de control para garantizar un funcionamiento óptimo, presentando una variedad de criterios y paradigmas para una selección adecuada. Además, se proporcionan ilustraciones detalladas que explican los principios de funcionamiento del sistema propuesto.

## **2.2. Bases Teóricas – Científicas**

### **2.2.1. Ventilación Minera**

La "atmósfera de mina" referido a la mezcla de gases que se encuentran en los espacios subterráneos de una mina. Se clasifica como "fresco" cuando es

seguro para que se respire, "viciado" si es no apto, "tóxico" si posee sustancias perjudiciales, y "explosivo" si hay gases o polvos que pueden explosionar.

Controlar la atmósfera dentro una mina subterránea es crucial, ya que este tiende afectar la salud del personal, la productividad y la seguridad durante las operaciones. Por lo tanto, la ventilación juega un papel esencial para que se mantengan las condiciones ambientales y de seguridad adecuadas.

La ventilación tiene funciones esenciales entre los que son: proporcionar el oxígeno necesario para que se logre respirar, mantener una temperatura correcta, diluir y extraer el polvo generado, y disipar gases producidos durante las operaciones subterráneas, como explosiones, carga, transporte y trituración. Además, la ventilación ayuda a diluir gases inflamables o tóxicos generados dentro de la mina (Herrera Herbert, 2019).

Existen diversas definiciones aplicables al concepto de ventilación en el contexto minero:

**A. Aplicación de Principios de Mecánica de Fluidos:**

Ventilación se refiere a aplicar principios de mecánica de fluidos dentro del flujo de aire cuando se tengan excavaciones subterráneas.

**B. Gestión de la Atmósfera Minera:**

- Ventilar es la gestionar la atmósfera de la mina, manteniéndola dentro de parámetros adecuados.

Importancia en la Seguridad y Operaciones:

- La ventilación es un factor crucial para que se garantice la seguridad del personal, dado que minimiza o elimina riesgos a catástrofes o accidentes subterráneos, y asimismo, logra mejorar de forma significativa el rendimiento de las operaciones.



- El concepto moderno de ventilación minera engloba varias ramas interrelacionadas:
  - Estudio y Vigilancia de la Calidad del Aire:
    - Incluye el análisis y monitoreo de la calidad del aire en la mina.
  - a. Clima de la Atmósfera Minera:
    - Aborda el "clima" de la atmósfera subterránea y sus condiciones.
  - b. Caudal y Movimiento del Aire:
    - Considera el caudal y el movimiento de los volúmenes de aire involucrados en el entorno subterráneo.
  - c. Prevención y Manejo de Accidentes:
    - Incluye el tratamiento de accidentes que se relacionan de forma directa a la ventilación, como explosiones de grisú, presencia de polvo, riesgos de asfixia, entre otros. Además, aborda las medidas de salvamento y rescate correspondientes.

### **2.2.2. Importancia de la Ventilación Minera**

- Para destacar lo importante que es la ventilación en la minería, usualmente se compara el peso del aire circulante en las minas versus el peso de los minerales extraídos. Fue observado que el primero es considerablemente mayor, siendo, por ejemplo, 7.5 veces el tonelaje extraído en las carboneras francesas en 1960.
- Es crucial entender que los requisitos actuales no son comparables con los del pasado, ya que las tasas de extracción en las minas eran diferentes y la intensidad no era la misma. En la actualidad, estándares de confort y seguridad tendieron a ser exigentes, lo que llevó a que se incrementara el número y tamaño de los ventiladores en cada sistema

de ventilación, como también se optimice su control de una manera más cuidadosa.

- En el presente, las operaciones mineras subterráneas dependen en gran medida de equipos diésel de gran tamaño y potencia. Esto ha llevado a que las estrategias de ventilación se centren necesariamente en el estudio y control de escenarios subterráneos con elevadas concentraciones de gases, especialmente en comparación con períodos en los que las operaciones mineras eran menos mecanizadas. Adaptarse a estos cambios es esencial para garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones mineras actuales.
- La ventilación en la explotación minera es esencial debido a la presencia de gases emitidos por formaciones rocosas y las concentraciones elevadas de gases tóxicos generados por equipos diésel. Esto conlleva a la necesidad de incrementar los flujos de aire para diluir y extraer estos contaminantes.
- El desarrollo de galerías de gran tamaño y potentes ventiladores eléctricos se vuelve imperativo para cumplir con estos altos requisitos de aire fresco. No obstante, este aumento en el consumo de energía para que se ventile, el cual podría representar del 40% al 60% de los costos de energía eléctrica en una mina subterránea, se traduce en importantes desembolsos económicos.
- Es importante considerar que el costo de la ventilación no solo involucra el gasto energético, sino también la amortización y mantenimiento de los ventiladores, la distribución del flujo de aire, y la supervisión y control, haciendo que este costo no sea insignificante

y deba ser cuidadosamente gestionado.

- Un ambiente mal ventilado no solo afecta la eficiencia y salud de los trabajadores, como también hace que se incremente la frecuencia para realizar el mantenimiento de equipos debido a factores como la humedad, oxidación y otros desafíos asociados. Además, para garantizar un flujo correcto de aire, las vías de acceso a la ventilación deben tener dimensiones mayores, lo que puede requerir obras mineras adicionales.
- En situaciones donde la ventilación es insuficiente, como en minas con emisiones de gases como metano, la producción puede verse afectada y, en algunos casos, suspendida temporalmente. La ventilación se convierte entonces en un cuello de botella para la operación minera.
- Desde el punto de vista de la seguridad y salud de los trabajadores, así como de la eficiencia y rendimiento, la ventilación desempeña un papel crítico. Un sistema de ventilación subdimensionado o que se implementó mal no logrará cumplir con los estándares de seguridad y probablemente afectará negativamente la productividad y la calidad del trabajo. Por otro lado, un sistema sobredimensionado generará costos innecesarios, impactando negativamente en los costos operativos y de capital de la empresa minera.

### **2.2.3. Complejidad de la Ventilación en una Mina: Retos y Problemas Asociados**

#### **Incremento de Desafíos con la Profundidad y Avances Técnicos:**

A medida que las minas se vuelven más profundas y se adoptan técnicas avanzadas de extracción y soporte, la creación de un sistema de ventilación efectivo y adecuado se vuelve cada vez más desafiante. Maximizar los avances tecnológicos requiere evitar limitaciones causadas por una ventilación insuficiente.

#### **a. Retos Técnicos Actuales:**

En la actualidad, los desafíos principales en la ventilación minera son predominantemente técnicos, con un enfoque en mejorar las condiciones atmosféricas en minas con mayor profundidad, dado que la temperatura y presión del terreno tienden a ser factores críticos. Las altas temperaturas en minas profundas hacen necesario complementar la ventilación con sistemas de refrigeración, lo que agrega significativamente a los costos operativos.

#### **Factores Operativos y Culturales:**

Durante la fase operativa, factores operativos y culturales también impactan el funcionamiento efectivo de los sistemas de ventilación. Problemas como puertas mal cerradas, ventiladores apagados incorrectamente o ejecución deficiente de trabajos en cerramientos y aislamientos afectan directamente la eficiencia de los circuitos de ventilación, comprometiendo la seguridad de los trabajadores y supervisores en áreas productivas.

#### **Problemas Asociados a los Sistemas de Ventilación:**

Los problemas relacionados con los sistemas de ventilación se dividen en tres áreas clave:

- Errores de Diseño: Asociados a información insuficiente sobre aspectos relevantes.
- Implementación y Mantenimiento Deficiente: Relacionados con malas prácticas como el uso de ventiladores incorrectos o mangas inadecuadas.
- Cambios en Requerimientos Posterior al Diseño: Provocan deficiencias al implementar el sistema diseñado inicialmente.

### **Riesgos de Dejar la Ventilación en Manos de Software sin Supervisión**

#### **Rigurosa:**

- Delegar la ventilación únicamente a programas de simulación sin un enfoque riguroso o conocimiento profundo puede llevar a discrepancias entre la simulación y la realidad de la mina. Calibrar adecuadamente estos programas es crucial para evitar errores en variables, geometría o situaciones no previstas.

#### **Avances en Software y Control de Ventilación:**

- A pesar de los desafíos, los avances en software de modelización son notables, y la implementación de sistemas de control de ventilación (VCS) para lograr la ventilación bajo demanda (VOD) ha demostrado reducir costos operativos en más del 50%.

### **b. Importancia y Factores Clave en la Ventilación Minera Subterránea:**

#### **a. Suministro de Aire Fresco y Control de Contaminantes:**

- Garantizar un adecuado suministro de aire fresco en las diversas áreas subterráneas es esencial para:
  - Proteger la salud de los trabajadores.
  - Disolver humos y gases generados por voladuras y explosivos.
  - Diluir gases de combustión de equipos diésel.
  - Reducir concentraciones de partículas de polvo dentro de los

límites legales.

**b. Sistema de Ventilación Adecuado:**

- El implementar un sistema de ventilación correcto es crucial para evitar impactos negativos en la salud de los trabajadores y para reducir costos significativos. Un sistema inapropiado puede resultar en problemas de seguridad y salud ocupacional, subrayando la importancia de tomar decisiones cuidadosas en este aspecto.

**c. Complejidad del Circuito de Ventilación:**

- El circuito de ventilación en una mina subterránea puede volverse intrincado. Es esencial que las operaciones mineras diseñen un modelo de ventilación ajustado a parámetros como factores de fricción, sección y longitudes de las labores mineras, pérdidas de carga y densidad. Este enfoque detallado permite crear un modelo de ventilación que sirva como herramienta valiosa para abordar y resolver problemas específicos en las operaciones subterráneas (Rivera, 2022).
- Se destaca que el "desconocimiento es el mayor enemigo de la ventilación", en función a las limitaciones de producción. La capacitación y el conocimiento especializado son esenciales, dado que la ventilación no fue tocado o desarrollado de manera correcta en las universidades y hay escasa investigación en este campo.

**2.2.4. Legislación sobre Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.**

- D.S N° 001-2021-TR – Decreto Supremo que modifica diversos artículos del Reglamento de la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. Este decreto supremo introduce cambios en

varios artículos del Reglamento de la Ley N° 29783, la cual establece las normas sobre Seguridad y Salud en el Trabajo. Las modificaciones buscan mejorar y actualizar las disposiciones existentes para garantizar un entorno laboral seguro y saludable para los trabajadores.

- Algunas de las áreas que se ven afectadas por estas modificaciones incluyen los procedimientos y protocolos de seguridad en el trabajo, las responsabilidades de empleadores y trabajadores en materia de salud laboral, así como las sanciones en caso de incumplimiento de las normativas de seguridad.
- El objetivo general de este decreto es fortalecer el marco normativo relacionado con la seguridad y salud en el trabajo, promoviendo mejores prácticas y condiciones laborales que salvaguarden la integridad física y mental de los trabajadores en diversas industrias.

#### **A. Según Reglamento de Seguridad: Ventilación**

Subcapítulo VIII del Artículo 246 establece disposiciones específicas indicando que el titular de cualquier actividad minera tiene que cumplir para que garantice un suministro correcto de aire cuando se realicen labores subterráneas, asegurando condiciones saludables y termo-ambientales confortables para los trabajadores. Aquí se detallan las principales directrices:

##### **a. Calidad del Aire y Mediciones Iniciales:**

- Se requiere que el titular mida los gases como CO, CO<sub>2</sub>, Y NO<sub>2</sub> Y O<sub>2</sub>, antes del inicio de cada jornada y al ingresar a labores subterráneas. Estas mediciones deben registrarse y comunicarse a los trabajadores.

**b. Circulación de Aire:**

- En todas las labores subterráneas, se debe mantener una circulación de aire limpio y fresco en cantidad suficiente, considerando el número de trabajadores y la potencia total de los equipos con motores de combustión interna. Se establece un mínimo del 19.5% de oxígeno en el ambiente de trabajo.

**c. Independencia de Entrada y Salida de Aire:**

Las entradas y salidas de aire tienen que estar completamente independientes. El circuito general de ventilación debe dividirse en ramales para proporcionar a todas las labores su parte proporcional de aire fresco, evitando la recirculación de aire.

**d. Ventilación Mecánica:**

Cuando la ventilación natural no sea suficiente, se debe emplear ventilación mecánica mediante la instalación de ventiladores principales, secundarios o auxiliares según sea necesario.

**e. Instalación Adecuada de Ventiladores:**

Ventiladores principales, secundarios y auxiliares tienen que ser instalados de forma correcta, así se evitará que recircule el aire. No se permite la ventilación de frentes de desarrollo con aire usado.

**f. Ventiladores Auxiliares y Mangas de Ventilación:**

Se requiere el uso de ventiladores auxiliares en labores con una única vía de acceso y avance superior a 60 metros. En labores de desarrollo, se deben instalar mangas de ventilación a menos de 15 metros del frente de disparo.



**g. Taladros Preventivos:**

Si hubiese indicios la alguna cámara subterránea de gas o riesgo de desprendimiento súbito, se realizarán taladros paralelos y oblicuos al eje de la labor que tengan mínimo 10 m de avance.

Estas normativas buscan asegurar un entorno seguro y saludable para los trabajadores en actividades mineras subterráneas, estableciendo pautas claras para la gestión y control de la ventilación.

**2.2.5. Composición y Contaminación del Aire en Minería:**

El aire que normalmente respiramos se encuentra constituido por 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y trazas de otros gases. Al introducir este aire en una mina, sufre deterioro debido a diversas razones, como oxidación de materiales, humos de voladuras, emanaciones de formaciones rocosas y otras fuentes. La composición del aire en la mina puede incluir gases como monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, sulfuro de hidrógeno, entre otros.

**Principales Contaminantes y Orígenes:**

- Oxidaciones y Descomposición:
- Proviene cuando se descompone el hierro, carbón, madera, etc.
- Gases de Voladuras y Formaciones:
- Emanaciones cuando se hace voladuras ( $H_2S$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO$ ) y gases para la formación de rocas ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ).
- Gases de Estratos y Movimientos de Gases:
- Migraciones de gases desde el macizo rocoso, como el metano en minería del carbón.
- Gases de Aguas Subterráneas: Contaminantes derivados de aguas subterráneas.

- Elevación del Nivel de Humedad: Aumento en la humedad ambiental.
- Polvo Minero: Polvo generado por las labores mineras.
- Fuegos y Explosiones: Emisión de gases en casos de fuegos y explosiones (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>).
- Baterías: Generación de hidrógeno por baterías.

### **Principales Contaminantes:**

Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), gases nitrosos (NO + NO<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), sulfuro de hidrógeno (SH<sub>2</sub>), hidrógeno (H<sub>2</sub>), polvo de roca, radón y torio (isótopos radioactivos en minerales).

### **Riesgos Asociados:**

Estos contaminantes pueden representar riesgos debido a su toxicidad y la reducción de oxígeno en el ambiente.

### **Estudio y Medición:**

Es desarrollado un estudio detallado de la atmósfera de mina, considerando propiedades físicas y químicas, efectos fisiológicos, límites permisibles y métodos prácticos de medición.

### **Gases en Ambientes Mineros**

En el contexto minero, la atmósfera está impregnada de varios gases, cada uno con sus propiedades y riesgos particulares. Veamos detalladamente los más comunes:

#### **Nitrógeno (N<sub>2</sub>)**

- Características: Gas inerte, incoloro, inodoro y más liviano que el aire.
- Impacto: Su adición en exceso puede crear una atmósfera asfixiante, siendo una preocupación en trabajos con explosivos y descomposición de materia orgánica.

### **Oxígeno (O<sub>2</sub>)**

- Características: Gas esencial para respirar y combustión, incoloro, inodoro, insípido y es un poco más pesado que el aire.
- Impacto: La disminución del contenido de oxígeno, especialmente por procesos de oxidación y desprendimiento de gases, puede causar dificultades respiratorias y pérdida de conocimiento.

### **Anhídrido Carbónico (CO<sub>2</sub>)**

- Características: Gas incoloro, con un ligero sabor ácido en altas concentraciones y más pesado que el aire.
- Impacto: Presente en el aire, su acumulación puede ocurrir en zonas bajas, afectando la calidad del aire y la salud de los trabajadores.

### **Monóxido de Carbono (CO)**

- Características: Gas incoloro, inodoro, insípido y más liviano que el aire.
- Impacto: Proveniente de voladuras, incendios y motores mal regulados, este gas puede ser mortal al interferir con la absorción de oxígeno en la sangre. Explosivo en ciertos rangos de concentración.

### **Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

- Características: Gases tóxicos, incoloros en bajas concentraciones y rojizos en altas.
- Impacto: Generados por explosivos y motores, su toxicidad radica en la formación de ácido nítrico y nitroso al entrar en contacto con la humedad de los pulmones.

### **Anhídrido Sulfuroso (SO<sub>2</sub>)**

- Características: inflamable, incoloro, sofocante, y pesa más que el aire.
- Impacto: Se forma en incendios y voladuras con sulfuros, siendo fácilmente

detectable por su olor característico. Irritante y peligroso.

### **Ácido Sulhídrico (H<sub>2</sub>S)**

- Características: Gas incoloro y olor a huevo podrido, soluble en agua.
- Impacto: Irritante y venenoso, se genera por putrefacción, descomposición de minerales y grietas. Su olor distintivo ayuda a la detección temprana.

### **Metano (CH<sub>4</sub>) y Otros Hidrocarburos**

- Características: Gas insípido, incoloro, inodoro, pesa menos que el aire.
- Impacto: Altamente peligroso por su capacidad para formar mezclas explosivas. Concentraciones elevadas en áreas altas de las minas de atmósfera tranquila.
- La gestión efectiva de la calidad del aire en entornos mineros es esencial para salvaguardar la salud de los trabajadores y garantizar condiciones seguras, para implementar medidas de seguridad y ventilación efectivas en entornos mineros.

#### **2.2.6. Factores Clave en Ventilación de Mina:**

Esta ventilación involucra varios factores esenciales que deben ser cuidadosamente gestionados para garantizar condiciones seguras y eficientes.

Estos factores clave son:

##### **A. Volumen de Aire**

Representa la cantidad de aire que se desplaza por galerías, chimeneas o tajos.

Se rige por la ley de la continuidad ( $Q = A * V$  en CFM). La correcta evaluación de este volumen es crucial para mantener un flujo adecuado de aire.

##### **B. Velocidad de Aire**

Indica el desplazamiento del aire en un conducto por unidad de tiempo

(medido en ft/min). Esta velocidad es fundamental para trasladar aire fresco o contaminado. Debe ser cuidadosamente determinada en el terreno.

### **C. Presión**

La fuerza necesaria para que se movilice un peso de aire, y que logra superar a la presión estática (SP) y la presión de velocidad (VP), medidas en pulgadas de agua. La gestión efectiva de la presión es esencial para un flujo controlado.

### **D. Sentido de Flujo y Encausamiento**

Indica la dirección del avance del aire y cómo se canaliza, especialmente en minería por trackless, donde la contaminación es más significativa. El encausamiento adecuado se adapta a las operaciones específicas en minería.

### **E. Área de Galerías y Perímetros**

Las dimensiones de las galerías y sus perímetros impactan directamente en la eficiencia del sistema de ventilación. Una estación de ventilación bien constituida debe considerar estas dimensiones en  $\text{ft}^2$  y ft, respectivamente.

### **F. Distribución del Volumen de Aire**

Implica en distribuir el flujo principal que inicia en una galería para las otras. La ley del equilibrio o distribución establece que el volumen que entra en un punto es igual al volumen que sale. Esta actividad es crucial para mantener la uniformidad en el flujo de aire.

### **G. Balance en la Distribución**

Ajusta los volúmenes de aire y este debe estar en función a las necesidades operativas. Un equilibrio adecuado garantiza que el volumen no tienda a variar a más del 7% del valor inicial, manteniendo condiciones estables.

### **H. Resistencia de un Tramo de Galería**

Refiere a pérdida de energía o presión del flujo cuando se mueve de un punto

a otro. La resistencia total de la galería se determina por las presiones estáticas y la energía necesaria para superar la fricción.

### **I. Factor de Fricción**

Resulta de la aspereza propia de cada tipo de roca o conducto en la mina. Se obtiene de tablas basadas en mediciones. La comprensión de este factor es esencial para calcular la resistencia en la galería.

La gestión efectiva de estos factores es fundamental para mantener un entorno seguro y productivo en operaciones mineras.

Instrumentos para medir la ventilación

La importancia de medir varios parámetros relacionados con el flujo de aire en sistemas de extracción industrial. Estos datos son cruciales para asegurar el buen funcionamiento del sistema y cumplir con normativas legales.

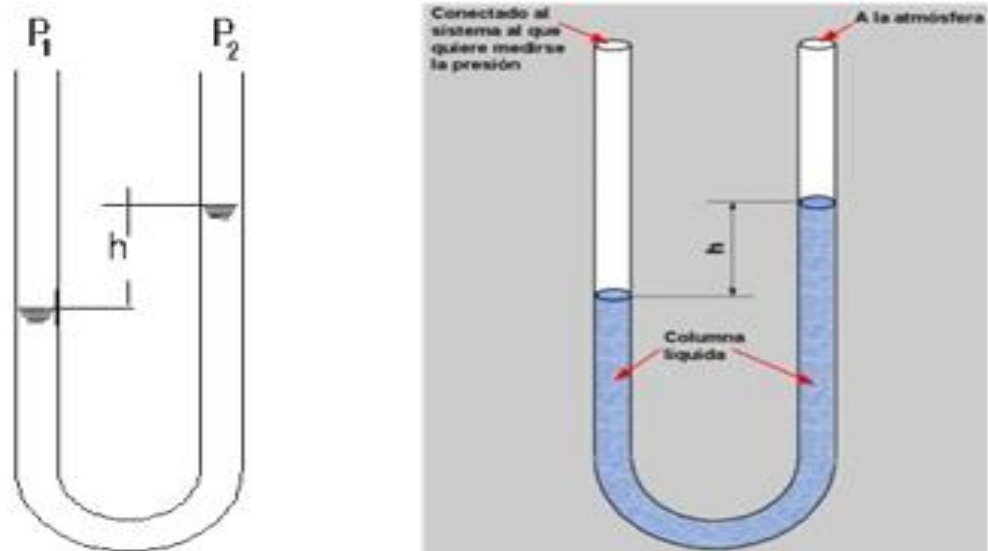
#### **2.2.7. Instrumentos para medir la ventilación**

Los propósitos de estas mediciones incluyen verificar si un sistema recién instalado opera según el diseño previsto, obtener datos para la colocación de registros en sistemas de extracción, realizar comprobaciones periódicas para el mantenimiento, determinar si hay suficiente potencia para añadir campanas de extracción, recopilar datos para el diseño de nuevos sistemas y verificar el cumplimiento de normativas.

La medición más importante es el caudal de aire. Aunque muchos aparatos miden la velocidad del aire en un punto específico, se necesita conocer también el área de la sección para calcular el caudal. La fórmula utilizada es  $Q = S.v$ , donde Q es el caudal, S es el área de la sección, y v es la velocidad media.

Luego, se mencionan los "aparatos de medida", centrándose en la medición de la presión estática. El manómetro en forma de "U" es descrito como

el más común para este propósito. Este dispositivo utiliza un tubo parcialmente lleno de agua, y su brazo puede inclinarse para aumentar la sensibilidad hasta diez veces. Se instala en el conducto con un taladro, eliminando rebordes para evitar turbulencias, y una rama del "U" se coloca perpendicularmente a las líneas de flujo para realizar la medición.



**Figura 1.** Manómetro de tubo en U

Un manómetro de tubo en U es un instrumento que se utiliza para medir la presión de fluidos en recipientes cerrados. El principio básico es que, al conectar cada rama del manómetro a fuentes de presión diferentes, el nivel del líquido en el tubo en U cambia en función de las presiones aplicadas y del peso específico del líquido utilizado en el instrumento.

En el caso de micro manómetros, se emplean tubos en U de vidrio calibrado con precisión, un flotador metálico y un carrete de inducción para señalar la posición del flotador. Estos instrumentos, extremadamente precisos, se utilizan como estándares en laboratorios para medir cambios de presión muy pequeños.

Hay dos tipos principales de manómetros: los de líquidos y los metálicos. Los manómetros de líquidos, generalmente usando mercurio, miden la presión según la diferencia de altura en una columna de mercurio en un tubo en U. Dependiendo de si el tubo está abierto por ambas ramas o solo por una, se considera o no la presión atmosférica en la medición.

En contraste, los manómetros metálicos utilizan un tubo metálico llamado tubo de Bourdon, que se deforma bajo presión. Estas deformaciones se transmiten mecánicamente a una aguja que marca directamente la presión en una escala graduada. Este tipo de manómetro es útil para medir presiones elevadas.

#### **A. La medida de la presión total**

En un sistema de ventilación se realiza utilizando dispositivos conocidos como "tubos de impactación". Estos tubos, conectados a un manómetro, permiten medir la presión total. Consisten en un tubo hueco doblado en ángulo recto, donde una de sus ramas está alineada paralelamente a las líneas de flujo y en sentido contrario a ellas.

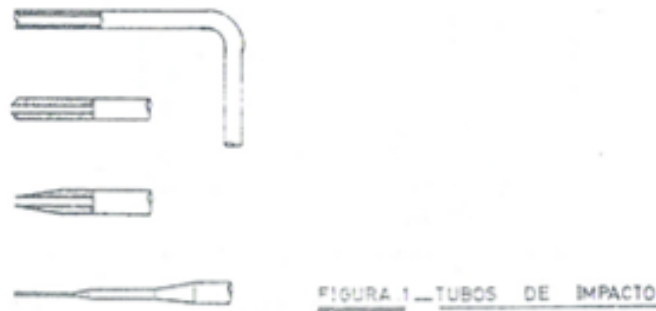
La otra rama se conecta directamente a un manómetro en forma de "U". Para lograr una presión dinámica, se resta la presión estática medida en el mismo punto de la presión total. Este dispositivo es simple, preciso y no requiere calibración, ya que su funcionamiento está en línea con la teoría.

Aunque es muy efectivo, no se aconseja su uso a velocidades de aire inferiores a 10 m/seg, a menos que se conecte a un "amplificador" de medida, como el manómetro inclinado mencionado anteriormente. Respecto a sus dimensiones, la longitud desde el extremo del tubo de entrada hasta el inicio de su curvatura debe ser al menos 19 veces el diámetro del tubo.

No hay restricciones en cuanto a los diámetros específicos, y los tubos de 4,



6, 8 mm, etc., han demostrado dar resultados satisfactorios. La única condición es que el tubo debe ser lo suficientemente rígido para que el extremo introducido en el conducto no vibre durante el flujo de aire.



**Figura 2.** Tubos de 4, 6, y 8 mm

## **B. Medida de la presión dinámica**

La medición de la presión dinámica en un sistema de ventilación comúnmente se realiza utilizando un dispositivo llamado Tubo de Pitot. Este tubo combina un tubo de impacto con otro medio que permite medir simultáneamente la presión estática.

El Tubo de Pitot consta de dos tubos concéntricos: el interior actúa como tubo de impacto, mientras que el exterior crea una cámara anular con una serie de orificios para medir la presión estática. Al conectar directamente las salidas de ambos tubos a las ramas correspondientes de un manómetro en forma de "U", se obtiene una lectura inmediata de la presión dinámica.

El Tubo de Pitot es un dispositivo que facilita la medición de la presión dinámica y está diseñado de manera que se pueda obtener simultáneamente la presión estática, proporcionando una lectura precisa mediante un manómetro en "U".

La presión dinámica está relacionada con la velocidad del fluido a través de

la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2$$

Siendo:

P = presión dinámica (Nm/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = densidad del fluido (Kg. /m<sup>3</sup>)

v = velocidad del fluido (m/seg.)

Para condiciones estándar del aire, o sea, a 20° C y 760 mm de presión atmosférica la densidad del fluido:  $\rho = 1,23 \text{ Kg. /m}^3$ .

Para otras condiciones distintas, es necesario corregir el valor de  $\rho$ :

$$\rho = \rho \cdot d$$

Siendo “d” el factor de corrección, función de la presión atmosférica y de la temperatura del aire, que se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$d = \frac{293 \times P}{T \cdot 760}$$

En donde:

T = temperatura del aire en ° Kelvin

P = presión atmosférica en mm Hg

La exactitud de un tubo de Pitot disminuye con la velocidad del fluido a causa de las limitaciones de uso de los manómetros convencionales en “U” para la medida de pequeñas presiones (inferiores a 2 mm H<sub>2</sub>O). En estos casos, es necesario recurrir a los manómetros inclinados (10:1), los cuales son capaces de efectuar lecturas de hasta  $\pm 0,10 \text{ mm H}_2\text{O}$ .

En este caso utilizando el Tubo de Pitot conjuntamente con un manómetro inclinado – pueden esperarse los siguientes errores en función de la velocidad:

**Tabla 1.**

*Errores en función de la velocidad del tubo de Pitot*

<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Error (<math>\pm</math>)</b>
20	0,25
15	0,30
10	1,00
5	4,00
4	6,00
3	15,00

Puede observarse, por consiguiente, que el uso del Tubo de Pitot está limitado para velocidades de fluido inferiores a 3 ó 4 m/s.

Los Tubos de Pitot no deben utilizarse para velocidades del fluido inferiores a los 4 m/s.

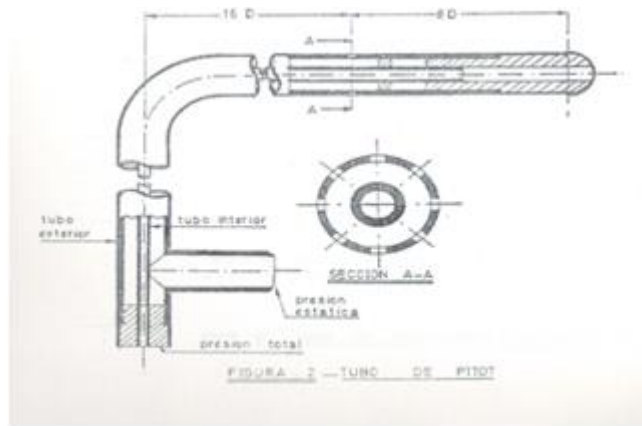
Dado que las velocidades del fluido en un conducto son variables en los distintos puntos de una misma sección, es necesario calcular la velocidad media en la misma.

Para ello, no es suficiente efectuar una medición única con el Tubo de Pitot, sino que se hace necesario seleccionar unos determinados puntos representativos de la sección para obtener la velocidad media.

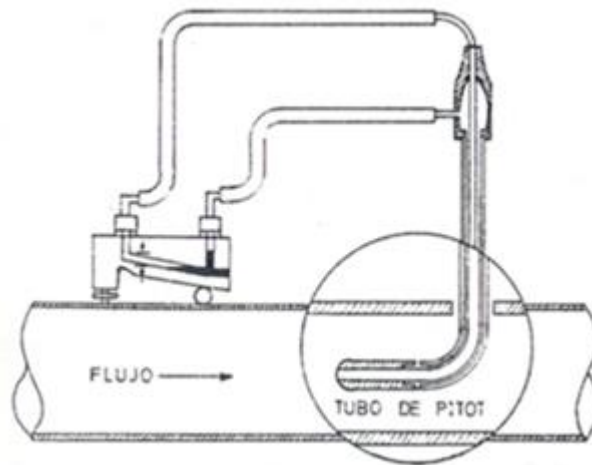
El método más empleado consiste en dividir la sección en anillos imaginarios de la misma área y efectuar la medida de la presión dinámica en cuatro puntos de cada uno de los extremos de dos diámetros perpendiculares.

Cada conjunto de 4 puntos de medida define una circunferencia que divide el área anular correspondiente en otras 2 áreas iguales.

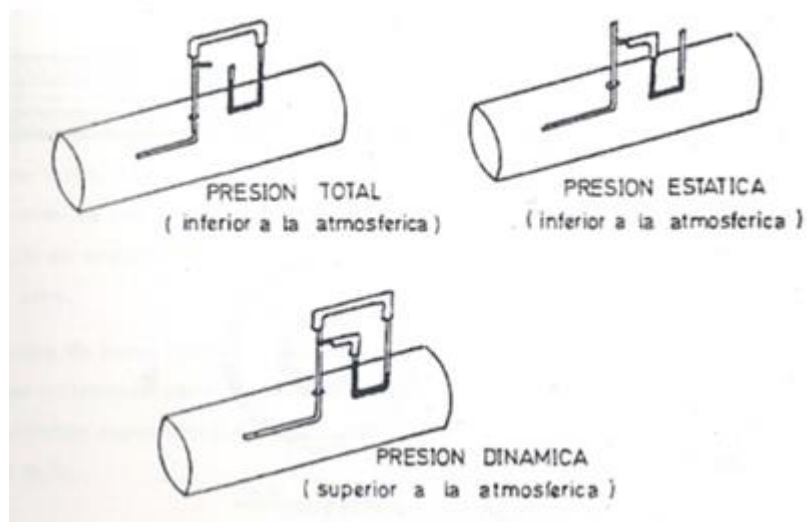
En la figura 5 se detalla gráficamente la selección de los puntos de medición para una sección dada de radio R.



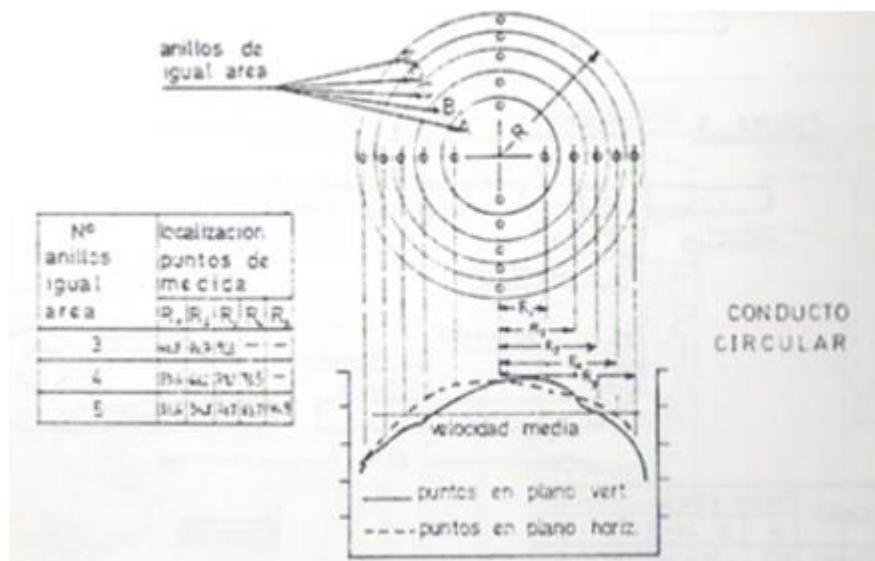
**Figura 3.** Colocación del tubo Pitot



**Figura 4.** Colocación del tubo Pitot 2



**Figura 5.** Aplicación del tubo Pitot



**Figura 6.** Selección de los puntos de medida con el tubo de Pitot en la sección de un conducto

Taladros para la medida de la presión estática en paredes de conductos

Los tamaños de taladros más adecuados para este fin oscilan entre 0,5 a 6 mm, que pueden ejecutarse mediante una simple herramienta manual.

La parte inferior es preferible se halle limpia de rebabas. Sin embargo, para el trabajo en la industria, la eliminación de dichas rebabas puede ser dificultosa y, en ese caso, no merece la pena el esfuerzo ya que la mayor parte de las mediciones realizadas son del orden de varios mm H<sub>2</sub>O en las que ya de por sí se cometen errores superiores a los introducidos por la existencia de tales rebabas.

### Estimación del caudal

La forma correcta de determinar el caudal que circula por un cierto sistema consiste en efectuar todas las mediciones anteriormente especificadas con el Tubo de Pitot en una sección adecuada de la tubería de descarga.

Sin embargo, cuando por escasez de tiempo o por circunstancias adversas ello no es posible, puede recurrirse a uno de los métodos que a continuación se detallan para una estimación aproximada del caudal.

- a. Medir la pérdida de la carga entre 2 secciones suficientemente distantes de un conducto y hallar mediante Tablas el caudal correspondiente a la misma.
- b. A partir de las presiones dinámicas medidas a la entrada de las campanas de aspiración, de las secciones de los conductos correspondientes y de los coeficientes de pérdida a la entrada calcular el flujo total.
- c. Hallar la suma aritmética de las presiones estáticas a la entrada y salida del ventilador, con este dato, y a partir de las Tablas suministradas por el fabricante, estimar el caudal

Hay que admitir que estos métodos son bastante rudos; no obstante, puede obtenerse mediante los mismos una precisión bastante aceptable en ciertos casos. Puede decirse que el error cometido oscila entre el 5% y el 10%, en más o en menos.

### **Otros Métodos e Instrumentos**

El caudal de aire que circula por un sistema de extracción puede calcularse también en forma aproximada usando otros tipos de instrumentos, ya sea a la entrada o a la salida del mismo. Los resultados correspondientes solo son válidos si se toman como aproximación ya que están sujetos a múltiples errores. Cualquier instrumento usado para este propósito solo debería manejarse siguiendo las especificaciones e indicaciones dadas por el fabricante.

El funcionamiento de cualquiera de estos aparatos se basa fundamentalmente en la medida de las velocidades de aire en un determinado

número de puntos y en promediar posteriormente los resultados obtenidos, lo cual evidentemente está sometido, de entrada, a errores humanos.

Se utilizan diferentes instrumentos y métodos para medir diversas variables en sistemas de ventilación:

**a. Para la velocidad del aire**

Es usado un tubo de humo con bombilla y cronómetro que mida velocidades bajas.

Para velocidades altas, se utilizan herramientas como, por ejemplo: anemómetro, tubo de Pitot, el veló metro, el termo anemómetro y este se selecciona en función a la velocidad a medir.

**b. Para la temperatura:**

Es empleado un psicrómetro de revoleo, quien presenta un bulbo seco y húmedo, que permite se obtenga la temperatura sensible del lugar. Esto permite evaluar el grado de confort y calcular el porcentaje de humedad relativa.

**c. Para la densidad del aire:**

Se recurre al termómetro y al barómetro o altímetro para medir la temperatura y la presión del lugar respectivamente. Luego, mediante fórmulas, se calcula la densidad del aire.

**d. Para medir el consumo de energía eléctrica de un ventilador:**

Se utiliza una pinza eléctrica y un amperímetro para medir la corriente consumida por el ventilador, junto al voltaje y factor de potencia. Además, se emplea un tacómetro que proporciona las revoluciones del motor.

**e. Para medir el área y el perímetro:**

Se usa una cinta métrica que otorga mediciones del lado de áreas geométricas y se emplean fórmulas que permite obtener el área y perímetro de las estaciones o áreas en cuestión.

**f. Lectura de planos de ventilación**

Se revisan los planos del último levantamiento de ventilación para obtener información sobre mediciones previas. Esto incluye conocer la dirección de los flujos, así como las longitudes que permiten obtener las resistencias en cada rama del sistema de ventilación.

**A. Estimación del requerimiento de Aire**

Cuando se trata de determinar la cantidad de aire necesaria en un entorno específico, como una mina ubicada a 4432 m.s.n., se busca cumplir con un objetivo de proporcionar 6 metros cúbicos por minuto para cada persona presente. Esta cantidad se ajusta teniendo en cuenta la altitud mencionada.

La fórmula utilizada para este cálculo se puede encontrar en la figura 4 del documento en la página 33. En resumen, se busca garantizar un suministro adecuado de aire para cada persona en función de la altitud y se utiliza una fórmula específica para lograrlo.

$$Q_h = N^{\circ} \text{ de personas} \cdot X \cdot (216 \cdot \text{CFM})^{\frac{1}{3}}$$

**B. Requerimiento por el polvo en suspensión**

La estrategia principal es hacer circular el aire a una velocidad específica a través de las áreas contaminadas, que lleva el polvo a área donde este no genere problemas. Según las regulaciones de seguridad y salud ocupacional (DS. 024-2016-EM, Art. 236), se establece que la concentración promedio de



polvo respirable en el aire al que los trabajadores están expuestos no debe ser superior a 3 mg/m<sup>3</sup>.

Además, se especifica que la ventilación en las áreas indicadas debe efectuarse con el estándar de velocidad del aire de veinte (20) m/min, basado a la cantidad de aire dada en las normativas. La velocidad del aire no debe ser inferior a veinte (20) metros por minuto ni superior a doscientos cincuenta (250) metros por minuto en las operaciones mineras, incluyendo a que se desarrolle, prepare en cualquier zona donde esté presente el personal.

Si se usa el explosivo ANFO u otros agentes para voladura, se debe tener en cuenta que la velocidad del aire no tendría que ser inferior a veinticinco (25) m/min. En resumen, se busca garantizar una circulación adecuada del aire para mantener la concentración de polvo respirable en niveles seguros y cumplir con estándares específicos de velocidad del aire en diversas situaciones mineras.

Formula Requerimiento por el polvo en suspensión

$$Q_t = A \times V \times M$$

V= Velocidad de aire en pies/min

A = Área transversal de la galería o de la chimenea o de ingreso al tajeo en pies<sup>2</sup>.

M= Número de galerías o niveles de producción.

### C. Requerimiento para los equipos diésel

Cada equipo necesita un suministro mínimo de aire de 3 m<sup>3</sup>/min, lo que equivale a 106 pies<sup>3</sup>/min por cada caballo de fuerza (PH) del motor del equipo. formula Requerimiento para los equipos diésel.

$$Q_{\text{Diésel}} = 106 \text{ CFM} \times N^{\circ} \text{ de HP de c/ EQUIPO} \times N^{\circ} \text{ equipos}$$

#### **D. Requerimiento para dar confort a los hombres en lugares calurosos**

Si se quiere reducir la temperatura en un área específica, se siguen dos pasos. Primero, se mide la temperatura y humedad del lugar determinado. Luego, se consulta una tabla especial (ábaco) que proporciona la velocidad de enfriamiento efectiva, la cual es diferente de la temperatura ambiente que se logra medir usando el bulbo seco del psicrómetro.

Finalizado ello, se multiplica esta velocidad de la tabla por el área del lugar donde se busca disminuir la temperatura. Asimismo, se debe reducir el % de humedad en ese lugar, calculado mediante la determinación de la temperatura de punto de rocío. Si el área tiene calor, la velocidad mínima recomendada es de 350 pies por minuto y la máxima es de 550 pies por minuto. Este volumen de aire es crucial para lograr condiciones de confort térmico. Formula Requerimiento que permite dar confort al personal que trabajan en área calurosas

$$Q_{\text{confort}} = A \times V_{te} \times T$$

$V_{te}$  = velocidad efectivo-sacada de la tabla de temperatura efectiva a 30°C.

$T$  = N° de tajos calientes a mejorar.

$A$  = promedio de la sección del tajo o frontón.

#### **E. Cantidad total de aire necesario a introducirse a las minas**

La cantidad total de aire que se requiere para ventilar toda la mina o área de trabajo, incluyendo chimeneas, tajos, frontones, galerías o circuitos, es la suma de las necesidades individuales de cada una de esas secciones. En otras

palabras, se suma la cantidad específica de aire necesaria para ventilar cada parte de la mina o área de trabajo.

$$Q_t = Q_h + Q_{ot} + Q_{odiesel} + Q_{oconfort}$$

## F. Sistemas de Ventilación

### a. Sistema impelente:

Empuja el aire hacia el conducto, evacuándolo por la galería a desarrollar dado que está viciada.

Recomendado para galerías horizontales de corta longitud y sección pequeña (menos de 400 m y 3 x 3 m).

Se elige la capacidad del sistema basándose en el equipo utilizado y la ubicación de la alimentación y evacuación de aire en la zona.

### b. Sistema aspirante:

Se Introduce aire fresco en la frente a través de la galería, extrayendo el aire contaminado por la ductería.

Preferido cuando se desee ventilar túneles que inicia en la superficie, aunque se necesitan elementos adicionales para extraer el aire de la "zona muerta" entre la frente y el extremo de la ductería de aspiración.

### c. Sistema combinado:

Es una combinación de los sistemas aspirante e impelente.

Utiliza dos conductos, uno para extraer aire y otro para impulsar aire limpio hacia la frente en avance.

Ofrece ventajas de ambos tipos, pero su instalación y mantenimiento son más costosos.

Más recomendado para galerías más grandes (más de 12 m<sup>2</sup>) de longitud

mayor a 400 m, especialmente que proporcione la visibilidad en galerías con tráfico de vehículos, especialmente si estos están equipados a diésel.

### 2.2.8. Circuitos Básicos de Ventilación de Minas

#### a. Circuito en Serie

Un "Circuito en Serie" en ventilación de minas se distingue porque la corriente de aire se desplaza sin divisiones, manteniendo un flujo constante. Todas las galerías se conectan una tras otra en este tipo de circuito.

Propiedades clave:

El volumen de aire que fluye por cada sección de la mina es el mismo.

- $Q_t = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$

La caída de presión total es igual a la suma de caídas de presiones parciales:

- $H_t = H_1 + H_2 + \dots + H_n$

Luego, como  $H = R \cdot Q^2$

- $H_t = R_1 \cdot Q^2 + R_2 \cdot Q^2 + \dots + R_n \cdot Q^2$

- $R_t \cdot Q^2 = R_1 \cdot Q^2 + R_2 \cdot Q^2 + \dots + R_n \cdot Q^2$

Como:

- $Q_t = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$

Quedará:

- $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$

#### b. Circuito en Paralelo

En un "Circuito de Ventilación en Paralelo", las galerías se dividen en un punto en dos o más caminos que luego se vuelven a unir en otro punto. La característica principal de estas divisiones paralelas es que

las pérdidas de presión en cada una de las secciones son iguales, independientemente del camino que tomen.

- $H_1 = H_2 = H_3 = \dots = H_n$

El caudal total del sistema de galerías en paralelo, es igual a la suma de los caudales parciales.

- $Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$

La raíz cuadrada inversa de la resistencia aerodinámica total de un circuito es igual a la suma de las raíces cuadradas inversas de las resistencias aerodinámicas parciales del mismo circuito.

### **2.2.9. Caída de Presión**

En el ámbito de la ventilación, resulta crucial a que se enfoque en la diferencia de presión que hay entre dos puntos, que medirlos de manera individual. El flujo de aire es generado como consecuencia de que hay una disparidad de presión entre dos puntos dentro del sistema, y que esta diferencia es lograda si es suministrada suficiente energía al sistema. Esta energía logra superar las pérdidas de energía inherentes al sistema. En ventilación, la disparidad de presión se mide comúnmente en milímetros de columna de agua (H).

### **2.2.10. Pérdidas de Presión**

Las resistencias presentes en el sistema generan una disminución o pérdida de presión, conocida como H, y es medida en mm de columna de agua o Pascal (1 mm Pa), y se componen de dos elementos:

Pérdidas por fricción (Hf): indica pérdidas de presión a lo largo del flujo lineal en el conducto y son causadas por la fricción del aire y paredes del ducto.

Pérdidas por choque ( $H_x$ ): su origen es local y son provocadas por eventos que ocurren dentro de por ejemplo bifurcaciones, modificación de áreas o dirección, uniones, obstrucciones, etc.

La expresión matemática que resume estas pérdidas de presión es

$$H=H_f + H_x.$$

### 2.2.11. Presiones en una Mina

Caída de presión estática se representa como ( $H_s$ ) =  $H_f$  +  $H_x$  más la suma de la Caída de presión por velocidad ( $H_v$ ), obteniéndose la Caída total de presión:

$$H_{\text{mina}}=H_s + H_v$$

$K$  = factor de fricción ( $\text{Ns}^2/\text{m}^4$ )  $Q$  = flujo de cantidad ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$w$  = densidad del aire ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )  $V$  = velocidad ( $\text{m}/\text{s}$ ).

Se hace referencia a la presión necesaria para vencer la resistencia debida a la fricción. Para calcular esta presión requerida, se emplean ecuaciones específicas, las cuales se aplican de la siguiente manera.

Se menciona:

- a. Se menciona la necesidad de calcular la presión necesaria para superar la resistencia generada por la fricción. Este cálculo se realiza utilizando ecuaciones particulares, las cuales se aplican en un contexto específico.

$$P=RQ^2$$

$P$ = Presión en pascales (Pa)

$R$ =Resistencia ( $\text{Ns}^2/\text{m}^8$ )

$Q$ =Cantidad de aire ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

- b. Presión de velocidad

Se hace uso de ecuaciones específicas para calcular la presión necesaria, en el contexto de determinar la presión de velocidad.

Se emplean ecuaciones que permiten calcular la presión de velocidad como:

$$VP = \frac{V^2 W}{2}$$

VP= presión de velocidad (Pa)

W=densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

V=velocidad de aire (m/s)

Nota: El aire con velocidad de 13 m/s y densidad = 1.2 kg/m<sup>3</sup>, presenta una presión de velocidad de alrededor de 100 Pa.

**c.** Factor de fricción

Estos valores K son determinados a través de mediciones que se llevan a cabo sobre diferentes galerías que presentan diversidad en tipos de rocas y sinuosidades. Obtener estos valores directamente en las galerías puede ser un proceso laborioso. Por lo tanto, recurrimos a una tabla preelaborada. Sin embargo, es necesario realizar una corrección teniendo en cuenta la densidad del aire en la mina que permite se obtenga el valor corregido de K a nivel mina.

- K corregido = K (w/1.2)

**d.** Tabla del Coeficiente de Fricción (K)

Los valores de K se obtienen mediante mediciones y cálculos. La información detallada se presenta en la tabla presentada a seguir, la cual muestra algunos valores típicos que podrían ser usados. Puedes consultar la Tabla 3 para obtener el valor.

**Tabla 2.**




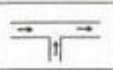



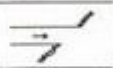





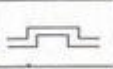




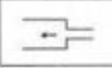

*Tabla del Coeficiente de Fricción (K)*

CONDUCTO DE VENTILACIÓN	K(Ns <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> )
Pique rectangular de madera	0,045 – 0,09
Pique circular revestido de hormigón	
-Vacio	0,0037
- con puntales divisorios	0,0075 – 0,06
- Con puntales divisorios aerodinámicos	0,0045 – 0,025
Túnel subterráneo	0,011 – 0,018
Cañerías galvanizadas	0,0027
Conducto de ventilación flexible	0,003
Ductos e fibra de vidrio	0,0025

e. Longitud equivalente

Las pérdidas por choques se generan en ubicaciones específicas debido a turbulencias, remolinos y resistencia del aire al encontrar obstáculos en el circuito. Estos obstáculos pueden ser cambios de dirección, entradas, contracciones, entre otros. La longitud equivalente asociada a estas pérdidas se determinó en las estaciones de las diferentes tareas, como se indica en la Figura 7.



FORMA		Le	FORMA		Le
	CURVA OBTUSA REDONDEADA	0.5		BIFURCACION	230
	ANGULO RECTO REDONDEADO	1		JUNTURA	90
	CURVA AGUDA REDONDEADA	3		ENTRADA	3
	CURVA OBTUSA QUEBRADA	15		DESCARGA	65
	ANGULO RECTO QUEBRADO	70		PASO SOBRE NIVEL (OPTIMO)	1
	CURVA AGUDA QUEBRADA	150		PASO SOBRE NIVEL (BUENO)	85
	CONTRACCION GRADUAL	1		PASO SOBRE NIVEL (MALO)	290
	EXPANSION GRADUAL	1		HUECO PARA PUERTA	70
	CONTRACCION ABRUPTA	10		CARRO O JALIA 20' A ARSA DEL CONDUITO	100
	EXPANSION ABRUPTA	20		CARRO O JALIA 20' A ARSA DEL CONDUITO	500

**Figura 7.** Cargos equivalentes en pies (*le*) para varias fuentes de pérdida por choque (*Le* en pies)

**f.** Cálculo de las áreas de estaciones

El área se determinó midiendo el ancho y altura de las diversas estaciones de tareas, para lo cual se usó un distanciómetro.

$$A = \left(\frac{axh}{12}\right) \times (\pi + 8)$$

Donde:

a = área (m<sup>2</sup>)

h = altura de la labor (m)

a = ancho de la labor (m)

**g.** Cálculo del perímetro

Se midió el ancho y altura en las estaciones de las distintas tareas a través la formula a seguir:

Donde:

$$P = \sqrt{A} \times 4$$

P = perímetro (m)

A = área de la sección (m<sup>2</sup>)

#### **h. Temperatura seca y humedad**

Ambas temperaturas fueron registradas en las estaciones de las distintas tareas mediante el uso de un anemómetro de paletas. La conversión de grados Fahrenheit (°F) a grados Celsius (°C), se empleó la formula a seguir:

$$C = (F - 32) \times \frac{5}{9}$$

Donde:

C = grados Celsius (°C)

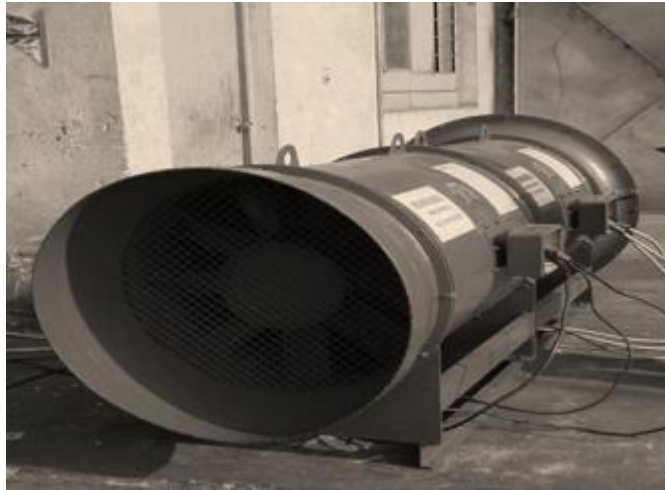
F = grados Fahrenheit (°F)

#### **2.2.12. Clasificación de ventiladores**

Los ventiladores se clasifican según su tipo y función. En cuanto al tipo, hay ventiladores axiales y centrífugos, y según su función, se dividen en principales, secundarios y auxiliares.

##### **a. Ventiladores axiales:**

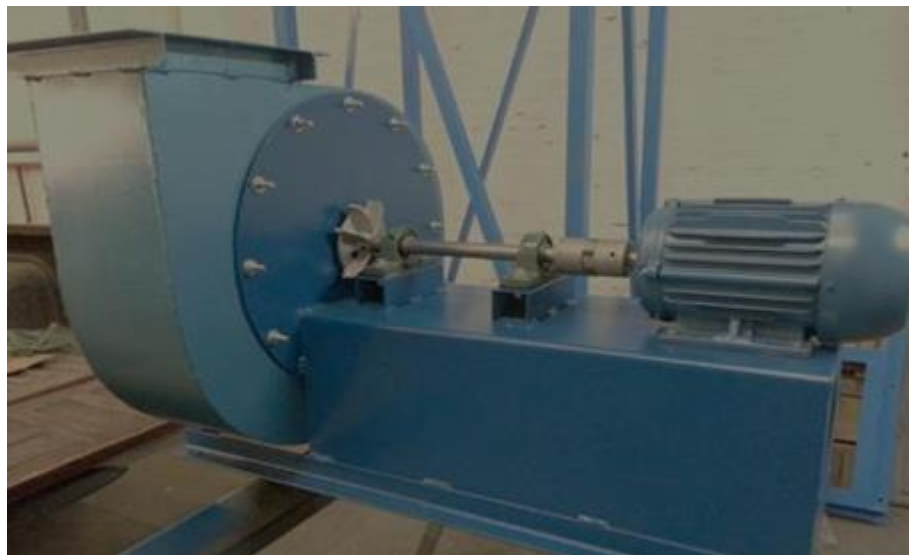
Estos ventiladores dirigen el flujo de aire en la misma dirección que el eje del dispositivo. A menudo se les llama helicoidales debido a que el flujo de aire adopta una trayectoria con esa forma en la salida. En general, son adecuados para mover grandes cantidades de aire a bajas presiones. Sin embargo, con velocidades periféricas moderadamente altas, tienden a ser ruidosos.



**Figura 8.** *Ventilador axial*

**b. Los ventiladores centrífugos**

Son dispositivos en los cuales el flujo de aire experimenta un cambio de dirección de 90 grados entre la entrada y la salida. En lugar de seguir el eje del dispositivo como en los ventiladores axiales, el aire se desplaza en ángulo recto respecto a la dirección inicial.



**Figura 9.** *Ventilador centrifugo*

**c. Ventiladores principales:**

Estos ventiladores, también conocidos como de superficie, se instalan típicamente 1en la superficie para ventilar toda la mina. En otras palabras,

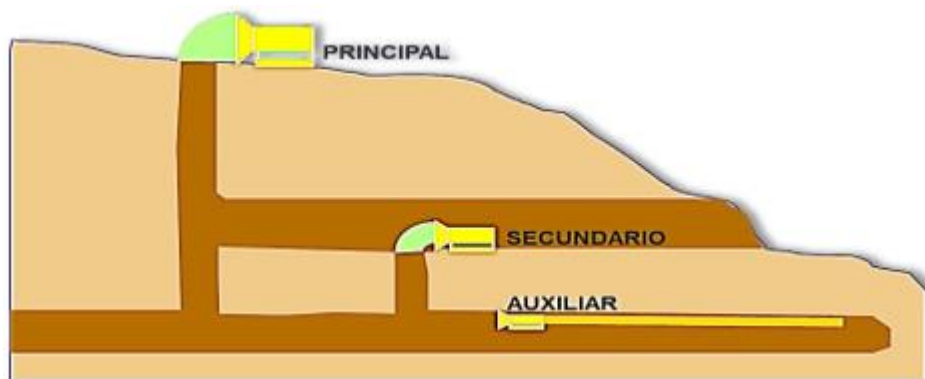
todo el aire del circuito pasa a través de este ventilador.

**d. Ventiladores secundarios o reforzados:**

Estos ventiladores se ubican en pasos principales subterráneos para ayudar al ventilador principal en la ventilación de circuitos con alta resistencia. Con el aumento de la concentración de trabajos mineros y la profundización de las minas, la demanda de presión de ventilación ha aumentado. Actualmente, es común encontrar baterías de ventiladores reforzados de tipo axial, conectados en paralelo o en serie según sea necesario. Esto simplifica las instalaciones y ofrece cierta flexibilidad dado que permite a que se detenga o se ponga en marcha parte de la batería según las necesidades y la experiencia de operación.

**e. Ventiladores auxiliares:**

Estos ventiladores tienden a instalarse sobre trabajos subterráneos que presentan ductos que permita se ventile galerías de avance o terminales ciegos. Se introdujeron en el siglo actual aprovechando que hay más disponibilidad de aire comprimido y energía eléctrica. Los ventiladores axiales compactos son preferidos dado que ofrece mayor eficiencia cuando se ventilan las galerías de avance.



**Figura 10.** Esquema de ventiladores principales, secundarios y auxiliares

### 2.2.13. Leyes de los ventiladores

La norma UNE 100-230-95 aborda el funcionamiento de los ventiladores y establece que, si un ventilador opera en condiciones diferentes a las ensayadas, no es práctico ni económico realizar nuevos ensayos para determinar su rendimiento. En cambio, se pueden utilizar las "Leyes de los Ventiladores", un conjunto de ecuaciones basadas en la teoría de la mecánica de fluidos, para determinar con precisión el rendimiento del ventilador en condiciones no ensayadas.

Estas leyes también permiten calcular las prestaciones de una serie de ventiladores geoméricamente similares a partir de las características de un ventilador ensayado. Su exactitud es suficiente para la mayoría de las aplicaciones, siempre que el diferencial de presión sea inferior a 3 kPa, momento en el cual se debe considerar la compresibilidad del gas.

Símbolo	Concepto	Unidad
$D_r$	Diámetro hélice/rodete	m
$L_{wt}$	Nivel Potencia total sonora	dB
$n$	Velocidad rotacional	$s^{-1}$
$P_r$	Potencia mecánica suministrada al ventilador	W
$P_f$	Presión del ventilador	Pa
$q_v$	Caudal de entrada	$m^3/s^{-1}$
$r$	Densidad	$kg/m^{-3}$

Antes de aplicar las leyes de los ventiladores, es crucial asegurarse de que los valores conocidos provengan de un dispositivo de la misma familia que esté operando en condiciones similares a aquellas bajo las cuales se desean determinar los nuevos valores. Además, las condiciones del ventilador en cuestión deben ser

proporcionales a las del ventilador de referencia, del cual se conocen los valores reales de ensayo.

Es esencial que la velocidad del fluido dentro del ventilador sea proporcional entre ambos, lo que implica verificar que la relación entre la velocidad periférica de dos puntos en un rodete sea igual a la relación entre la velocidad periférica de dos puntos similares en el otro rodete.

A medida que se presenten las leyes que rigen las variaciones de los ventiladores, se proporcionarán ejemplos para facilitar la comprensión de su aplicación práctica.

### VARIACIÓN DEL DIÁMETRO

Caudal  $q_v = q_{v0} (D_r / D_{r0})^3$

Presión  $p_r = p_{r0} (D_r / D_{r0})^2$

Potencia  $P_r = p_{r0} (D_r / D_{r0})^5$

Nivel Potencia sonora  $L_{wt} = L_{wt0} + 70 \log$



**Figura 11.** Variación del diámetro

Es importante notar que, aunque un aumento en la presión puede parecer beneficioso en ciertos casos, la resistencia general del sistema también aumenta en la misma proporción, lo que anula la ventaja del incremento de presión.

En cuanto a la potencia, se debe considerar el aumento experimentado. Aunque, en situaciones específicas como un aumento de densidad debido a una disminución de temperatura, el motor no se calentará excesivamente si cuenta con una mejor refrigeración gracias al aire frío. Aun así, se recomienda controlar el consumo de energía del motor.

Las fórmulas de los cuadros anteriores pueden resumirse en las siguientes dos ecuaciones, que nos permiten calcular el caudal, la presión, la potencia y el ruido de un ventilador al variar varios parámetros simultáneamente.

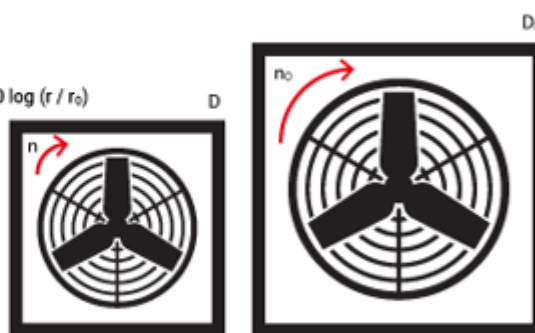
### VARIACIÓN DE VARIOS PARÁMETROS

Caudal  $q_v = q_{v0} (D_r / D_{r0})^3 (n / n_0)$

Presión  $p = p_0 (D_r / D_{r0})^2 (n / n_0)^2 (r / r_0)$

Potencia  $P = P_0 (D_r / D_{r0})^5 (n / n_0)^3 (r / r_0)$

Nivel potencia sonora  $L_{w1} = L_{w0} + 70 \log (D_r / D_{r0}) + 50 \log (n / n_0) + 20 \log (r / r_0)$



El subíndice cero (0) indica la condición inicial de la variable considerada.

**Figura 12.** Variación de varios parámetros

Todas las fórmulas presentadas hasta ahora abordan el problema de manera directa. Al variar magnitudes independientes como el diámetro, la velocidad y la densidad, estas fórmulas nos permiten calcular los resultados aerodinámicos y acústicos derivados de dichas variaciones. Es decir, nos proporcionan información sobre el caudal, la presión y el nivel sonoro resultantes de los ajustes en esas magnitudes.

#### 2.2.14. Ubicación de la Mina Andaychagua

La Unidad Económica Administrativa Andaychagua Volcan Cía. Minera SAC es una importante instalación minera que se dedica a la producción de varios metales. Está ubicada en la sierra central del Perú, una región con una larga historia en la minería. Concretamente, se encuentra en el distrito de Huayhuay, en la provincia de Yauli, perteneciente al departamento de Junín.

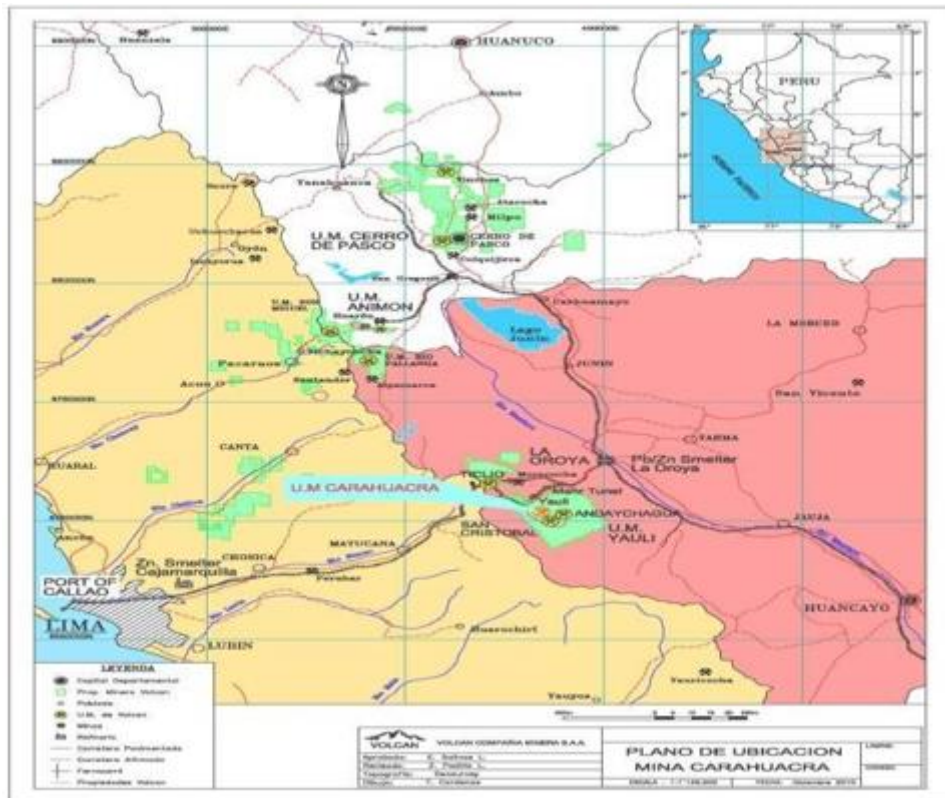
Esta unidad forma parte de la Volcán Compañía Minera S.A.A. y está políticamente vinculada al caserío Andaychagua, específicamente al anexo San



José de Andaychagua, en el distrito de Huayhuay, provincia de Yauli, departamento de Junín.



**Figura 13.** Unidad minera Andaychagua-Volcan SAA



**Figura 14.** Plano No.1: de Ubicación unidad minera Andaychagua-Volcan SAAGeologia



### a. Geología Regional

El distrito minero de Andaychagua se encuentra en la parte Sur-Este, presenta una estructura amplia regional, cuya naturaleza es dómica, y constituye básicamente distritos de Morococha, San Cristóbal y Andaychagua. Esta estructura originalmente fue llamada "Complejo Domal de Yauli" en 1948 y, en este trabajo, se le designa como "Domo de Yauli".

En cuanto a la geología local, se identifican varias unidades geológicas:

- **Grupo Excelsior:** Aflora en la parte central y oeste del área de estudio, principalmente en Andaychagua. Compuesto mayormente por filitas que poseen poco grado de fracturamiento, venillas de cuarzo, piritas y material arcilloso compacto. La oxidación no es abundante, pero en algunos tramos hay alto grado de fracturamiento.
- **Metavolcánicos:** Una secuencia de transición entre el Grupo Excelsior y el Grupo Mitu, con secuencias volcánicas metamorfoseadas de bajo grado, textura brechoide y presencia de venillas de calcita y mineralización de sulfuros.
- **Grupo Mitu:** Conformado por volcánicos andesíticos, mostrando zonas de moderado a bajo grado de fracturamiento. Se observan venillas y cavidades mineralizadas con sulfuros en zonas con fracturamiento moderado, así como presencia de óxidos.
- **Grupo Pucará:** Compuesto por calizas con moderado a alto grado de fracturamiento. Las zonas con fracturamiento moderado tienen venillas de calcita y escasa oxidación, no en tanto en áreas con alto grado de fracturamiento se observa alteración hidrotermal (argilización).

- **Grupo Goyllarisquizga:** Conformado por areniscas cuarcíticas, lutitas y limolitas. Presenta moderado grado de fracturamiento, con sulfuros diseminados en las fracturas y venillas de sílice.
- **Rocas Intrusivas:** Se encuentran microdioritas de textura fanerítica verde parduzco, poco a moderadamente fracturadas, con venas de calcita oquerosa y venillas de sílice.
- **Depósitos Cuaternarios:** referente a depósitos glaciares morrénicos y fluvioglaciares, resultado de la erosión glacial antigua y reciente.

#### **A. Geología Económica**

En cuanto a la geología económica, observaciones de campo, leyes de bloques y perforaciones diamantinas indican:

- La esfalerita se vuelve más marmatítica en la parte suroeste de la veta, con un aumento de cobre y zinc cerca de los contactos entre andesitas y filitas, así como el gabro.
- Altas concentraciones de Zn son encontradas cerca de los contactos entre andesitas y filitas, andesitas y gabro, y en la unión de la veta Prosperidad con la veta Andaychagua, acompañadas significativamente de arsenopirita.
- Hacia el noreste del Río Andaychagua, la veta muestra reducción de valores de Cu, Pb, y Zn.
- El cómo están distribuidos los minerales indican soluciones sub-horizontales con una orientación suroeste-noreste, resultando en la presencia de minerales de baja temperatura como baritina y estibina en el extremo noreste del afloramiento, y minerales de la primera etapa de

mineralización en el contacto entre andesitas y filitas al suroeste.

Categoría	TMS	AV(m)	Zn(%)	Pb(%)	Cu(%)	Ag(oz/t)
Medido	1,465,798	3.40	1.79	0.43	0.11	2.83
Indicado	4,187,857	3.58	1.86	0.35	0.10	2.60
<b>Total general</b>	<b>3,198,742</b>	<b>3.58</b>	<b>1.86</b>	<b>0.35</b>	<b>1.10</b>	<b>2.60</b>

Fuente: departamento de Planeamiento VOLCAN.

**Figura 15. Reservas**

### 2.2.15. Minería

#### A. Exploración, Desarrollo y Preparación

El Departamento de Geología y Exploraciones de Volcán Cía. Minera S.A.A. ha categorizado los tipos de minerales utilizando su sistema computarizado de registro de reservas. En la actualidad, están implementando una política decidida para aumentar el radio de cubicación, apuntando a alcanzar alrededor de 100 toneladas por metro cúbico (TM/ml).

#### B. Método de Explotación

En la Unidad Económica Administrativa Andaychagua de Volcán Compañía Minera S.A.A., se utiliza el método de explotación conocido como corte relleno descendente mecanizado con relleno hidráulico. En este proceso, se emplea la técnica de perforación denominada "breasting" y perforación vertical.

El proceso comienza con la construcción de dos rampas de dimensiones 4 x 4.5 metros, con una pendiente negativa del 12% en las rectas y del 6% en las curvas, separadas por 600 metros. A continuación, se ejecuta un "by pass" de 4 x 4 metros a lo largo de la caja techo, paralelo a la veta, dejando un pilar de aproximadamente

30 metros hacia la veta. Luego, se realizan entradas cada 50 metros con ventanas horizontales de 3.5 x 3.0 metros hacia la veta. Estas ventanas se utilizan para los primeros cortes hasta que el pendiente alcance un 15% positivo. Los cortes subsiguientes se llevan a cabo utilizando accesos de 3.5 x 3.0 metros desde la rampa principal.

El proceso de extracción se realiza de manera horizontal, comenzando desde el tajo y avanzando hacia arriba. El mineral fragmentado se carga y extrae por completo del tajo, y el espacio resultante se rellena con relleno hidráulico para brindar soporte a las cajas, creando así una plataforma para la siguiente fase de extracción. La producción diaria de la mina San Cristóbal es de 2,500 toneladas métricas con una composición de 0.35% de cobre, 0.90% de plomo, 6.5% de zinc y 6.71 onzas de plata por tonelada.

### **C. Servicios Auxiliares**

- **Sostenimiento:**

**Sostenimiento Activo:**

- Instalación de pernos del tipo set.
- Aplicación de shotcrete con fibra (espesor de 2").
- Empleo de pernos helicoidales.
- Combinación de pernos y shotcrete con fibra (utilizando Split set y 2" de espesor).
- Uso de relleno hidráulico.

**Sostenimiento Pasivo:**

- Implementación de sostenimiento con madera.
- Aplicación de sostenimiento con shotcrete (espesor de 4").

- **Drenaje y Relleno:**

Para eliminar las aguas generadas durante las operaciones mineras, se utilizan bombas eléctricas que son transportadas a las áreas donde se necesitan. En la operación R/H, se emplea una bomba eléctrica de la marca Denver Modelo 5K con una potencia de 85 Hp.

- **Ventilación:**

Para garantizar una adecuada circulación de aire en las diversas áreas mineras, se utilizan sistemas de ventilación artificiales y mecanizados. En el nivel 820, se está utilizando un ventilador de 60000 CFM (tanto aspirante como empujador), junto con ventiladores adicionales con capacidades que varían desde 30000 CFM. La instalación se realiza en serie para optimizar el flujo de aire.

### **2.3. Definición de términos básicos**

#### **A. Chimenea:**

Es una apertura vertical excavada hacia abajo desde la superficie. Se trata de una excavación que puede tener una orientación vertical o inclinada, dado que tiende a abrirse de manera directa en la superficie. Su propósito principal es facilitar la extracción de mineral, así como el descenso y ascenso de materiales desde y hacia el subsuelo. Además de su función principal, la chimenea sirve como canal para la disposición de cables eléctricos, tuberías para la conducción de agua y aire comprimido. La ventilación de todas las labores subterráneas también se lleva a cabo a través de la chimenea, asegurando así un ambiente adecuado en el entorno subterráneo.

#### **B. Enfermedad Profesional:**

Una enfermedad profesional se refiere a cualquier estado patológico, que se

presente temporalmente o permanente, y que desarrollo un trabajador como resultado directo y obligado de la naturaleza de su labor o del entorno en el que ha sido requerido trabajar, y que ha sido oficialmente identificado y clasificado como una enfermedad. En el contexto de la minería, los riesgos causales de enfermedades profesionales suelen derivarse principalmente de prácticas inadecuadas relacionadas con el manejo de desagües, la exposición a materiales particulados (como polvo y gases), que hayan pisos planos pero inclinados, y que no se tenga una adecuada ventilación.

**C. Gases Esenciales:**

En el contexto de la minería, se hace referencia a los "gases esenciales" como el aire atmosférico y el O<sub>2</sub>, son vitales para que se mantenga la vida humana, cuando se realizan actividades mineras, debido a que proporcionan las condiciones necesarias para la respiración y, así, para sostener la vida de los trabajadores en el entorno minero.

**D. Gases Nitrosos:**

Los gases nitrosos, representados por NO (monóxido de nitrógeno) y NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrógeno), son subproductos derivados de varios óxidos de nitrógeno. Se encuentran comúnmente en forma de una mezcla con diferentes concentraciones, siendo un resultado típico de las detonaciones en los frentes mineros. Es importante destacar que estos dos gases, NO y NO<sub>2</sub>, tienden a no separarse y se presentan juntos como una combinación en las emisiones producidas durante las voladuras en la minería.

**E. Gases Sofocantes**

En el ámbito minero, los "gases sofocantes" son aquellos que, en altas concentraciones, pueden causar asfixia y, en casos extremos, llevar a la

muerte. Entre estos gases se incluyen:

- Nitrógeno ( $N_2$ ): Un gas incoloro e inodoro que, en concentraciones elevadas, puede provocar ahogos.
- Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ): Este gas, cuando alcanza concentraciones superiores al 15% en volumen, puede ser mortal. Es incoloro e inodoro, y su acumulación puede llevar a la asfixia.
- Metano ( $CH_4$ ): Un gas inflamable que, en concentraciones altas, puede causar ahogos y presentar riesgos de explosión.
- Gas de Carburo ( $C_2H_2$ ): Producido por la reacción del agua con el carburo de calcio, este gas tiene un olor característico a ajo. Puede ser peligroso en concentraciones elevadas, causando ahogos y otros riesgos para la salud.

#### **F. Grisú**

El grisú es una mezcla variable de metano con aire, pudiendo contener otros gases como etano y anhídrido carbónico. La presencia predominante de metano, en concentraciones significativas, define sus características principales. Este gas es:

- ◆ Altamente Combustible: Grisú tiene la capacidad de arder con una llama azulada.
- ◆ Incoloro e Insípido: No presenta color ni sabor perceptible.
- ◆ Asfixiante: usualmente desplaza al  $O_2$  de la mezcla de aire, alcanzando niveles peligrosos para la supervivencia humana.
- ◆ Menos Denso que el Aire: logra acumularse en áreas altas de las labores mineras, y donde una velocidad de ventilación es mínima.

El riesgo principal asociado al grisú radica a que este puede explotar o arder,

cuando este se mezcla al aire a determinados porcentajes. Se considera especialmente peligroso en concentraciones entre el 5% y el 16%, donde la mezcla es altamente explosiva. Esta gama de concentraciones permite que el gas arda por debajo del 5% y se apague por encima del 16%. La detección de grisú se realiza a través de dispositivos como lámparas de gasolina (lámparas de seguridad), grisúmetros o metanómetros.

#### **G. Leyes de Ventilación**

Referido al grupo de principios que permiten se diseñe de forma eficiente un sistema de circulación de aire en entornos subterráneos. Estas leyes incluyen:

- Variación de Temperatura con la Profundidad: La temperatura incrementa un grado centígrado por cada 30 m descendidos iniciando en la superficie.
- Necesidad de Entrada, Salida y Diferencia de Presión: Para que se logre producir una corriente de aire efectiva, es necesario una entrada, una salida y que haya diferencia de presión (depresión). Siempre que haya mayor depresión, se tendrá mayor cantidad de aire a circular por el circuito.
- Relación entre Depresión y Cantidad de Aire: la cantidad de aire que fluye aumenta proporcionalmente con la depresión existente.
- Reducción del Porcentaje de Gas con Mayor Cantidad de Aire: A medida que se incrementa la cantidad de aire, disminuye el porcentaje de gases presentes en la mezcla.
- Camino más Fácil para la Salida del Aire: El aire, al buscar una salida, siempre sigue el camino más fácil y directo disponible.
- Influencia de las Fugas en el Circuito: Menos fugas en el circuito resultan



en una mayor cantidad de aire que circula por el mismo.

- **Movimiento Ascendente del Aire Caliente:** El aire caliente tiende a ascender, influyendo en la dirección del flujo de aire en el circuito de ventilación.

## **H. Ventilación**

La ventilación en minería es la operación responsable de introducir aire fresco y limpio a los frentes de explotación, al mismo tiempo que evacua el aire viciado o enrarecido de esos frentes. Este proceso se lleva a cabo mediante rutas específicas y definidas en las diversas secciones de la mina. El objetivo es garantizar condiciones ambientales seguras y saludables para los trabajadores, así como para mantener la eficiencia en las operaciones subterráneas al proporcionar una atmósfera adecuada en los lugares de trabajo.

## **I. Ventilación Natural**

La ventilación natural en minería es un sistema que se utiliza en minas subterráneas, especialmente en aquellas ubicadas en áreas montañosas. Este método se logra aprovechando la diferencia de elevación sin la necesidad de utilizar equipos mecánicos o eléctricos, como ventiladores o extractores. La única fuerza natural que impulsa y mantiene un flujo de aire significativo es la energía térmica generada por la diferencia de temperatura, la cual crea una variación en el peso específico entre el aire que sale y el aire que entra.

La eficacia de la ventilación natural depende de dos factores principales:

- **Diferencia de Elevación:** La variación en altura entre la superficie y las áreas de trabajo en la mina. A mayor diferencia de elevación, se genera una mayor presión, lo que resulta en un mayor flujo de aire.

- Diferencia de Temperatura: La discrepancia térmica entre el interior y el exterior de la mina. A medida que aumenta la diferencia de temperatura, se incrementa la presión, lo que contribuye a un mayor flujo de aire.

La ventilación natural aprovecha estos principios para proporcionar un sistema de circulación de aire en las operaciones mineras sin depender de dispositivos mecánicos.

## **J. Ventilador**

En el contexto minero, un ventilador es un dispositivo, ya sea eléctrico o mecánico, utilizado para la recirculación, difusión o extracción del aire en la mina. Estos dispositivos desempeñan un papel crucial en la gestión del aire subterráneo para mantener condiciones seguras y saludables para los trabajadores. Los ventiladores en minería se clasifican basados a su modo de operación en dos tipos principales:

- Ventiladores Centrífugos: Dispositivos que operan mediante un mecanismo centrífugo, utilizando la fuerza centrífuga para desplazar el aire hacia una dirección perpendicular referente del eje de rotación.
- Ventiladores Axiales: Estos ventiladores dirigen el flujo de aire a lo largo del mismo eje de rotación. Se subdividen en varias categorías, incluyendo:
  - Tipo Propulsor o Mural: Diseñados para montarse en la pared, impulsando el aire en línea recta.
  - Tipo Tubo-Axial: Su diseño permite que el aire sea forzado a través de un conducto tubular.
  - Tipo Vane-Axial: Utilizan álabes o paletas para guiar y mejorar la

dirección del flujo de aire a lo largo del eje de rotación.

Estos ventiladores desempeñan un papel esencial en el control y la gestión del ambiente subterráneo, asegurando una adecuada circulación del aire y condiciones seguras para la operación minera.

## **K. Manga de Ventilación**

Una manga de ventilación es un conducto diseñado para la evacuación de aire en entornos mineros. Se distingue por su resistencia y ligereza, lo que la hace adecuada para diversas aplicaciones en la minería. Su función principal es facilitar el flujo de aire, y puede utilizarse de dos maneras:

- Sistema Impelente: Utilizado para llevar el aire desde el conducto hasta el frente, contribuyendo al suministro de aire fresco en las áreas de trabajo.
- Sistema Aspirante: Empleado para dirigir los gases y el polvo desde las áreas de trabajo hacia el conducto, contribuyendo a la evacuación de contaminantes del ambiente subterráneo.

La manga de ventilación juega un papel esencial en el control y la gestión del aire en la minería, asegurando condiciones ambientales seguras y saludables para los trabajadores.

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

El uso del ventilador Axial podrá Atenuar gases perniciosos positivamente en el Nivel – 1200 Mina Andaychagua Volcan Cía. Minera SAA. 2019

### **2.4.2. Hipótesis Específico**

- a. Influye la concentración de monóxido de carbono en la atenuación de gases perniciosos en el Nivel 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA.

- b. Influye la concentración de dióxido de carbono en la atenuación de gases perniciosos en el Nivel 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA - 2019

## 2.5. Identificación de variables

### 2.5.1. Variables Independiente

Ventilador Axial

### 2.5.2. Variable Dependiente

Gases perniciosos

### 2.5.3. Variable Interviniente

Problemas de Atenuación de Gases

## 2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores

### Variables Operacionalización

#### Tabla 3.

*Operacionalización de la variable independiente*

Variable	Def. Operacional	Dimensión	Indicadores
Ventilador Axial	Los ventiladores axiales tienen una especie de "aspas" llamadas palas que están conectadas a un eje. Estas palas están encerradas en una carcasa y esta carcasa, a su vez, está conectada a un motor eléctrico. Cuando el motor eléctrico se enciende, hace girar el eje y, por ende, las palas. Este movimiento de las palas genera flujo de aire, lo que hace que el ventilador funcione y mueva el aire en la dirección deseada.	Caudal de aire	m <sup>3</sup> /min

**Tabla 4.***Operacionalización de Variable Dependiente*

<b>Variable</b>	<b>Def. Operacional</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>
Gases perniciosos	Los gases mencionados, como el monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, aldehídos, humos, metano y dióxido de azufre, son considerados gases de estratos. Estos gases se encuentran atrapados dentro de las rocas del yacimiento. Cuando se realiza una actividad minera y se interactúa con estas rocas, se puede liberar una cantidad significativa de estos gases tóxicos, lo que representa un riesgo para la salud debido a las concentraciones elevadas de sustancias perjudiciales para la salud	Monóxido de Carbono Dióxido de Carbono	Partes por millón (ppm) Partes por millón (ppm)

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de Investigación

- ❖ Basado al tipo de conocimiento previo:

Científicas

- ❖ Basado a la naturaleza del objeto del estudio:

Científicas Formal

- ❖ Basado al tipo de pregunta planteada en el problema:

Teórica, aplicada.

- ❖ Basado al método de contratación de la Hipótesis:

De causa a efecto Pre experimentales.

- ❖ Basado al método de estudio de las variables:

Cuantitativas.

Para la investigación se clasifica como científica, con un enfoque formal en la naturaleza del objeto de estudio. Las preguntas planteadas abarcan aspectos teóricos y aplicados. La construcción de hipótesis se realiza desde la causa hasta el efecto en un contexto preexperimental. Además, se emplea un método

cuantitativo para el estudio de las variables.

### **3.2. Nivel de investigación**

El enfoque metodológico aplicado en la investigación se describe de la siguiente manera:

❖ **Método Descriptivo:**

Se aplicó para desarrollar los aspectos técnicos, teóricos y prácticos relacionados con el proceso de ventilación minera en el Nivel principal.

❖ **Método Científico Analítico y Deductivo:**

El método científico analítico permitió descomponer y examinar los elementos del proceso de ventilación. El enfoque deductivo se utilizó para inferir conclusiones desde observaciones particulares hacia afirmaciones generales.

En la investigación se empleó un método descriptivo para abordar los detalles del proceso de ventilación minera en el Nivel principal. Además, se aplicó un enfoque científico analítico y deductivo para analizar y derivar conclusiones a partir de observaciones específicas, extrapolándolas hacia principios generales en la investigación.

### **3.3. Métodos de Investigación**

- **Explicativo:**

Este método busca comprender la relación de causa y efecto entre variables.

En el contexto de la investigación, se pretende explicar los fenómenos y entender por qué ocurren ciertos resultados.

- **Científico:**

El método científico se basa en la aplicación de principios y procesos sistemáticos para obtener conocimiento confiable y válido. Implica

observación, formulación de hipótesis, experimentación y análisis de resultados.

- **Estadístico:**

El método estadístico se utiliza para recopilar, organizar, analizar e interpretar datos. Involucra el uso de técnicas estadísticas para obtener conclusiones significativas a partir de conjuntos de datos.

Estos métodos se aplican de manera conjunta para abordar la investigación de manera sistemática, científica y estadística, permitiendo una comprensión más profunda de los fenómenos estudiados y la obtención de conclusiones significativas

### **3.4. Diseño de Investigación**

La investigación se llevó a cabo bajo el siguiente diseño:

- **Método Científico Analítico:**

Se ejecutó según el enfoque analítico del Método Científico, centrándose en el análisis detallado de las características específicas de los datos de las labores mineras.

- **Período de Estudio:**

La investigación abarcó desde octubre de 2018 hasta junio de 2019.

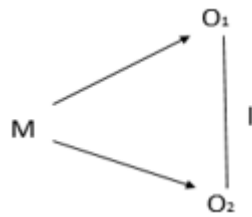
- **Diseño Pre Experimental:**

Se aplicó un diseño de carácter pre experimental en la investigación.

El diseño de investigación utilizado se basó en el Método Científico analítico, que permitirá se aborden características particulares del análisis de datos de las labores mineras. Además, se aplicó un diseño pre experimental durante el período de estudio establecido.



## Diseño de Investigación



Donde:

O<sub>1</sub> = Medición previo a aplicar la variable independiente.

M = Muestra.

O<sub>2</sub> = Medición después de aplicar la variable independiente.

I = Aplicación de la Variable Independiente.

### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. La población

EL Nivel-1200 UEA Andaychagua, Volcan S.A.A-2019

#### 3.5.2. La Muestra

En este trabajo la muestra estuvo constituida de las labores ubicadas en el nivel 1200, TJ 500E, TJ 559 W, TJ 560 W x AC800, el cual abarco en total 3 tajeos y accesos que fueron sujetos a estudio.

Esta manera de seleccionar la muestra es conocida como selectiva no probabilística, lo que significa que es dependiente al proceso de toma de decisiones de los investigadores. Como menciona R. Hernández Sampieri (2010) en su obra "Metodología de la Investigación", en las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no está determinada por la probabilidad, sino por factores relacionados con las características específicas de la investigación. Este enfoque no sigue un procedimiento mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que se guía por la relevancia y pertinencia de los elementos seleccionados para alcanzar los objetivos de la investigación.

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de análisis documentario para recolectar datos, centrándote en la información relacionada con el Nivel-1200 UEA Andaychagua de Volcan S.A.A durante los periodos 2018 al 2019. Además, se mencionan que el instrumento que se usó para recolectar datos fue la Matriz de Análisis de Datos, la cual implica un procesamiento estadístico riguroso.

Algunas consideraciones adicionales que podrían mejorar la comprensión y validez de tu estudio:

- **Detalle de la Técnica:** Es importante proporcionar detalles adicionales sobre la técnica de análisis documentario. ¿Cómo se seleccionaron los documentos? ¿Qué tipo de información se buscó específicamente en esos documentos? Aportar esta información puede ayudar a los lectores a entender mejor la metodología.
- **Estructura de la Matriz de Análisis de Datos:** Describir la estructura específica de la Matriz de Análisis de Datos puede ser útil. ¿Cuáles son las filas y columnas de la matriz? ¿Cómo se organizan y codifican los datos?
- **Procesamiento Estadístico Riguroso:** Proporciona detalles sobre el tipo de procesamiento estadístico que se llevó a cabo. ¿Se realizaron análisis descriptivos, inferenciales u otros tipos de análisis? Específicamente, ¿cómo se aplicó el procesamiento estadístico a la Matriz de Análisis de Datos?
- **Consideraciones Éticas:** Se trabajo con información sensible o confidencial, es importante destacar las consideraciones éticas en la recolección y manejo de datos.

**Dentro de las limitaciones:** Es recomendable mencionar las posibles limitaciones de tu enfoque de recolección de datos. Ningún método es

perfecto, y reconocer las limitaciones fortalece la transparencia de tu investigación.

Los datos se validan en función al procesado y obtenido de la Matriz de Análisis de Datos para garantizar su calidad y que se confiable.

### **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

Los datos fueron seleccionados y validados utilizando informes diarios proporcionados al Área de Ventilación de Minas de la Empresa. El propósito era gestionar y verificar los resultados antes y después de implementar el diseño de la malla de perforación. En cuanto a la confiabilidad, no fue necesario evaluarla, ya que la recopilación de datos se llevó a cabo mediante una ficha de recolección, garantizando la exactitud de los datos, en lugar de depender de un instrumento de medición convencional, como opiniones, percepciones, conocimientos o actitudes.

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Es importante tener claro qué tipo de datos se recopilaron y se organizaron en la matriz. La claridad en la estructura de la matriz facilita la interpretación de los resultados.

Análisis Descriptivo: Aplicación de medidas de tendencia central y dispersión es fundamental para que se entienda la distribución de las variables cuantitativas, los resultados son presentados de manera clara en el informe.

### **3.9. Tratamiento Estadístico**

La evaluación de la normalidad de los datos y la elección de las pruebas estadísticas son pasos cruciales en el análisis de datos. Aquí hay algunos comentarios y consideraciones adicionales:

A. Prueba de Shapiro-Wilk para Normalidad: Es adecuado haber utilizado la

prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos. Esta prueba es eficaz para muestras pequeñas y es sensible a desviaciones de la normalidad. Sería útil incluir en tu informe los resultados de esta prueba, indicando si los datos siguen o no una distribución normal.

- B. Elección de Pruebas Estadísticas: La elección de la prueba t de Student para muestras relacionadas cuando los datos siguen una distribución normal y la prueba de Wilcoxon cuando no lo hacen es una buena práctica. Esto demuestra la consideración de la naturaleza de tus datos y la aplicación de pruebas estadísticas apropiadas.
- C. Nivel de Confianza del 95% y p-valor: Es importante especificar claramente el nivel de confianza utilizado (en este caso, 95%) y cómo se interpreta el p-valor. La elección de  $p < 0.05$  como criterio para rechazar la hipótesis nula es estándar y refleja un nivel de significancia comúnmente aceptado.
- D. Rechazo de la Hipótesis: Al mencionar que " $p < 0.05$  determinó que se rechace la hipótesis del estudio", asegúrate de especificar si estás hablando de la hipótesis nula o alternativa. Además, sería útil indicar si el rechazo de la hipótesis apoya o refuta la dirección de tu investigación.

Presentación de Resultados: En tu la tesis, es fundamental proporcionar los resultados de manera clara y concisa, posiblemente utilizando tablas o gráficos para resumir los hallazgos significativos.

### **3.10. Orientación ética filosófica y epistémica**

Al aplicar el instrumento de recolección de datos, se garantizó la confidencialidad, asegurándose de proteger y no revelar las fuentes de datos. Los datos recopilados y la información proporcionada por el área de ventilación de

Principal de la Empresa se utilizaron exclusivamente para los fines de esta investigación y solo fueron accesibles al investigador.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

El plan de trabajo se elaboró en colaboración con el jefe a cargo del área de Ventilación de Minas en la Mina de Andaychagua. Se le detalló al Jefe el uso adecuado de la Ventiladora Axial, así como los beneficios derivados de su implementación, como parte de los procedimientos y estándares establecidos por la Compañía Minera Volcán SAA.

#### **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

Excel spreadsheet showing a ventilation report for VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A. The report includes a header with the company logo and name, followed by a table of data. The data table has columns for location, total area, and various percentages.

Ubicacion	Total Ventilat (m2)	Total Caida (m2)	Total Ingreso (m2)	Total Porcentaje de trabajo (m2)	Total Ingreso (m2)	Total Ingreso (m2)	Total Ingreso (m2)	Total Ingreso (m2)	Total Ingreso (m2)	Total Ingreso (m2)	Total Ingreso (m2)	
MA7N1	62.3	1133.7	24.9	33.3	3382.0	43.5	43.5	1180.4	20.1	3.5	852.0	37.8
MA7N2	91.1	1278.7	24.5	33.0	3320.0	42.5	42.5	1099.4	20.1	3.1	772.0	42.2
MA205	35.5	848.4	24.5	33.7	3351.0	42.7	42.7	1094.4	20.1	3.4	800.0	37.4
MA207	32.7	845.7	24.3	32.6	3340.0	41.0	41.0	1035.4	18.4	3.1	790.0	37.1
MA204	41.0	785.4	24.4	32.7	3300.0	41.4	41.4	1015.1	18.4	3.2	780.0	37.0
MA204	45.1	811.7	24.4	32.5	3331.0	41.4	41.4	1020.0	18.4	3.1	780.0	36.8
MA203	44.7	842.4	24.2	32.2	3402.0	43.4	43.4	1018.4	18.7	3.2	790.0	36.2
MA204	41.4	851.6	24.1	32.0	3402.0	43.0	43.0	1018.1	18.7	3.2	790.0	36.2

Figura 16. Base de datos Excel: NIVEL-1200 Mina Andaychagua, VOLCAN S.A.A

### Confiabilidad y validación del instrumento

La confiabilidad del instrumento utilizado en esta investigación se evaluó mediante el Método de Mitades Partidas, como se ilustra en la Figura 17. Este método implica dividir el instrumento en dos partes y analizar la consistencia entre ellas para medir su confiabilidad.

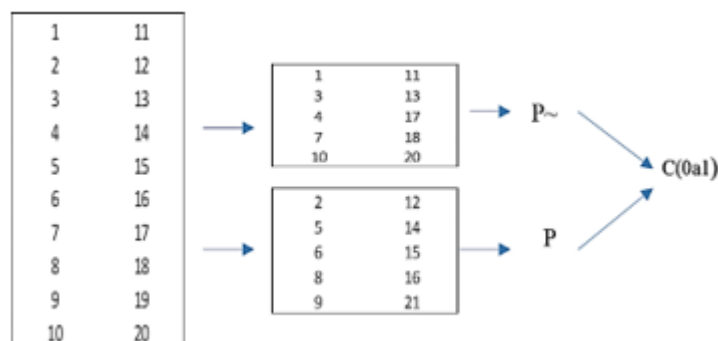


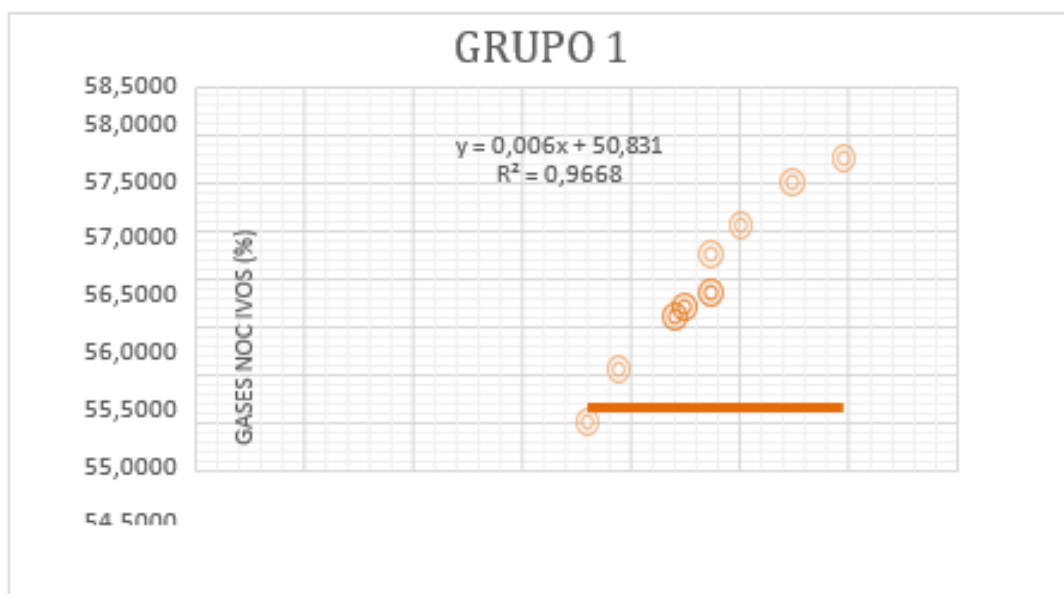
Figura 17. Método de Mitades Partidas (split-haves)

Los datos de la matriz de análisis fueron divididos de manera aleatoria obteniéndose dos grupos, siendo estos sometidos a un coeficiente de correlación. Los resultados son mostrados en la Figura 18.

GRUPO 1			GRUPO 2		
NUMERO	VENTILADOR PRINCIPAL - AXIAL (M <sup>3</sup> /MIN)	GASES NOCIVOS (%)	NUMERO	VENTILADOR PRINCIPAL - AXIAL (M <sup>3</sup> /MIN)	GASES NOCIVOS (%)
1	1193.8921	57.7500	2	1099.8848	57.1500
3	1099.8848	57.5000	5	1015.2783	56.9500
4	1005.8776	57.0500	6	1062.2819	56.9000
7	900.5895	56.2000	8	913.7505	56.2000
10	949.4732	56.7500	9	913.7505	56.1000
11	949.4732	56.3500	12	949.4732	56.7500
13	780.2602	55.5500	14	823.5035	55.9500
17	723.8558	55.0000	15	804.7021	55.5500
18	883.6682	56.1000	16	817.8631	55.5500

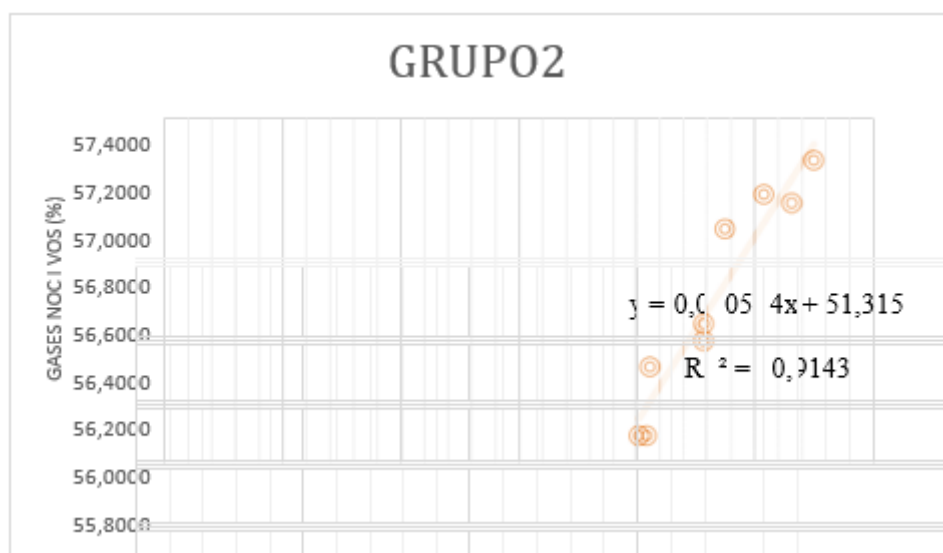
**Figura 18.** División de muestra para método Split halves

Utilizando la línea de tendencia, fue calculado el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) en cada grupo, lo que nos ayuda a entender la fuerza de la relación entre los datos. Puedes encontrar esta información en la Figura 19.



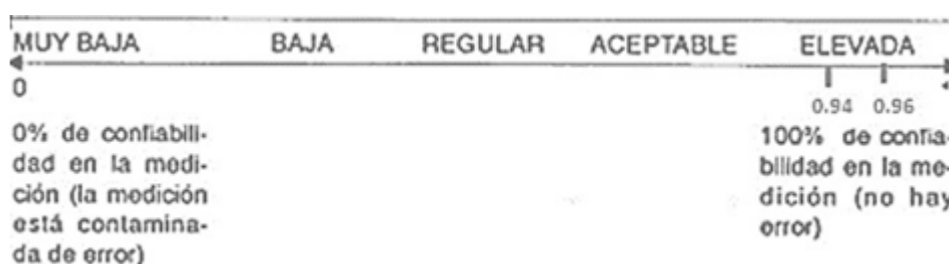
**Figura 19.** Grado de correlación para ambos grupos 1





**Figura 20.** Grado de correlación para ambos grupos 2

Los valores de  $R^2$  que se obtuvieron se utilizan para interpretar el coeficiente de confiabilidad, y ambos resultados indican un nivel alto de confiabilidad. Esto se puede visualizar en la Figura 21.



**Figura 21.** Interpretación del coeficiente de confiabilidad

Habiendo completado la validación del instrumento utilizado para recolectar datos, en este caso, la matriz de análisis de datos de la mina Andaychagua-Volcan S.A.A., llevamos a cabo este proceso entre octubre de 2018 y junio de 2019. Para asegurar que el instrumento es válido, la experiencia de los jefes de guardia, supervisores y gerentes de la compañía minera fue considerado. Como colaborador que trabajó en el área de ventilación, destaco personalmente que esta investigación tiene un enfoque aplicativo debido a sus características específicas.

En relación con el análisis cuantitativo de las variables, ya que la investigación se centra en variables continuas, proporcionamos un detallado análisis cuantitativo de la hipótesis general formulada. Utilizamos el software Spss Statistics (versión 25), y los resultados de este análisis se presentan en las tablas subsiguientes. Además, es mostrado la tabla inicial previo a que aplique la variable de estudio, la cual puedes revisar en la Figura 22.

Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
Medición	Media	59,87444444	,46878991
Inicial gases nocivos (%)	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	58,88538419
		Límite superior	60,8635047
	Media recortada al 5%	59,82938272	
	Mediana	59,78000000	
	Varianza	3,956	
	Desviación estándar	1,988907146	
	Mínimo	57,03000000	
	Máximo	63,53000000	
	Rango	6,50000000	
	Rango intercuartil	3,366666667	
	Asimetría	,229	,536
	Curtosis	-,970	1,038
Medición	Media	56,40833333	,1753264930
Final gases nocivos (%)	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	56,03842677
		Límite superior	56,77823990
	Media recortada al 5%	56,41203704	
	Mediana	56,27500000	
	Varianza	,553	
	Desviación estándar	,7438473120	
	Mínimo	55,00000000	
	Máximo	57,75000000	
	Rango	2,75000000	
	Rango intercuartil	1,12500000	
	Asimetría	-,019	,536
	Curtosis	-,619	1,038

**Figura 22.** *Análisis Cuantitativo porcentaje de gases nocivos medición inicio y final*

Ahora, observemos la tabla después de haber aplicado la variable de estudio (consultar Figura 23)

Descriptivos				
			Estadístico	Error estándar
Ventilador principal axial (m <sup>3</sup> /min)	Media		938,1923549	29,4775593
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	876,0001412	
		Límite superior	1000,384569	
	Media recortada al 5%		935,8943999	
	Mediana		931,6118475	
	Varianza		15640,677	
	Desviación estándar		125,0626924	
	Mínimo		723,855825	
	Máximo		1193,892075	
	Rango		470,03625	
	Rango intercuartil		204,935805	
	Asimetría		,277	,536
	Curtosis		-,398	1,038
	Medición Final gases nocivos(%)	Media		56,40833
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	56,03842677	
		Límite superior	56,7782399	
Media recortada al 5%		56,41203704		
Mediana		56,275		
Varianza		,553		
Desviación estándar		,743847312		
Mínimo		55,000000		
Máximo		57,7500		
Rango		2,750000		
Rango intercuartil		1,12500		
Asimetría		-,019	,536	
Curtosis		-,619	1,038	

**Figura 23.** *Tabla del ventilador axial y gases nocivos*

### Prueba de Normalidad

Con respecto a las pruebas de normalidad, se extrajeron los datos estadísticos de la tabla 8 en concordancia con las hipótesis planteadas, tanto la hipótesis general como las específicas. A continuación, se presentan los resultados detallados de las pruebas de normalidad correspondientes a cada una de estas hipótesis. Cabe destacar que, debido al tamaño de nuestras muestras, que asciende a 18, optamos por utilizar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, ya que es apropiada cuando el número de muestras es inferior a 30.

### Prueba de Normalidad: Hipótesis General

En nuestro análisis, que se basa en un conjunto de 18 muestras tomadas de los cortes de la Mina Andaychagua de Volcan S.A.A., la evaluación de la normalidad se lleva a cabo mediante la prueba de Shapiro-Wilk, como se detalla en la Tabla 5. Es importante señalar que esta elección se fundamenta en el hecho de que estamos tratando con un número de muestras relativamente pequeño, siendo inferior a 30

**Tabla 5.**

*Prueba de Normalidad para Hipótesis General*

Prueba de normalidad	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Ventilador principal (m3/min)	,978	18	,929
Promedio de Gases Nocivos (%)	,975	18	,890

**Tabla 6.**

*Valores de significancia de la prueba la prueba de Shapiro-Wilk*

Normalidad		
0.929	>	0.05
0.890	>	0.05

En la prueba de normalidad, los valores obtenidos, 0.929 y 0.890, son superiores al nivel de significancia establecido. Esto nos lleva a concluir que los datos provenientes de los cortes de la mina siguen una distribución normal, ya que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar esa premisa.

### Prueba de Normalidad: Hipótesis Especifico 1

Basado al análisis, que tiene 18 muestras de cortes de la Mina Andaychagua de Volcán S.A.A, se realizó es teste de normalidad utilizando el

método de Shapiro-Wilk. Los resultados de esta prueba se encuentran detallados en la Tabla 7.

**Tabla 7.**  
*Prueba de Normalidad para Hipótesis específica 1*

	Shapiro -Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.
Inicial M onóxido de carbono CO(PPM )	0,951	18	0,435
Final M onóxido de carbono CO(PPM )	0,961	18	0,627

**Tabla 8.**  
*Valores de significancia de la prueba la prueba de Shapiro-Wilk*

Normalidad		
0.435	>	0.05
0.627	>	0.05

Como observado de la prueba de normalidad, valores reportados son 0.435 y 0.627, que son mayores que el nivel de significancia establecido. Así, concluimos que podemos aceptar la hipótesis de que los datos de los cortes provienen de una distribución normal, ya que no hay suficiente evidencia estadística para rechazar dicha afirmación.

### **Prueba de Normalidad Especifico 2:**

En nuestro análisis, basado en 18 muestras de cortes extraídas de la Mina Andaychagua de Volcan S.A.A, hemos realizado la prueba de normalidad utilizando el método de Shapiro-Wilk. Los resultados completos de esta prueba se encuentran detallados en la Tabla 9.

**Tabla 9.**  
*Prueba de Normalidad para hipótesis Especifica 2*

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Inicial Dióxido de carbono CO2(PPM)	,937	18	,258
final Dióxido de carbono CO2(PPM)	,975	18	,886

**Tabla 10.**  
*Valores de significancia de la prueba la prueba de Shapiro-Wilk*

Normalidad		
0.258	>	0.05
0.886	>	0.05

Como observado de la prueba de normalidad, valores reportados son 0.258 y 0.886, son superiores al nivel de significancia establecido. Por lo tanto, concluimos que hay suficiente evidencia para aceptar que los datos siguen una distribución normal.

#### **4.3. Prueba de Hipótesis**

##### **A. Hipótesis General**

Existe influencia del ventilador principal para la dilución de gases nocivos en nivel-1200 Mina Andaychagua-Volcan S.A.A-2019.

##### **Hipótesis Alterna**

Ha: “Existe influencia del ventilador principal para la dilución de gases nocivos en el nivel-1200 Mina Andaychagua-Volcan S.A.A-2019.

##### **Hipótesis Nula**

Ho: “No Existe influencia del ventilador principal para la dilución de gases nocivos en el del nivel-1200 Mina Andaychagua-Volcan S.A.A-2019”.

En primer lugar, verificamos si los datos provienen de una distribución

normal, para ello detallamos línea abajo.

### **Prueba de Normalidad:**

En la evaluación de la normalidad, realizamos la prueba de Shapiro-Wilk para nuestro análisis, utilizando 18 muestras del nivel-1200 de la Mina Andaychagua. Los resultados detallados de esta prueba se encuentran presentados en las Tablas 11 y 12.

**Tabla 11.**

*Prueba de Normalidad para Hipótesis General*

<b>Prueba de normalidad</b>	<b>Shapiro-Wilk</b>		
	Estadístico	gl	Sig.
Ventilador principal axial (m <sup>3</sup> /min)	,978	18	,929
Promedio de Gases Nocivos (%)	,975	18	,890

**Tabla 12.**

*Prueba de normalidad vs significancia*

<b>Normalidad</b>		
0.929	>	0.05
0.890	>	0.05

En la prueba de normalidad, observamos que los valores obtenidos, 0.929 y 0.890, son superiores al nivel de significancia establecido de 0.05. En consecuencia, se concluye que hay evidencia suficiente para aceptar la hipótesis de que los datos provienen de una distribución normal.

### **Correlación de Pearson:**

A continuación, se presenta la prueba de correlación de las variables, con detalles disponibles en la Tabla 13 para su referencia.

**Tabla 13.***Prueba de correlación de las variables*

<b>CORRELACIONES</b>		P ro medio de Gases nocivos (%)	
<b>DE PEARSON</b>		Ventilador axial (m3/min)	
	Correlación de Pearson	1	,972**
Ventilador principal axial (m3/min)	Sig. (bilateral)		0
	N	18	18
	Correlación de Pearson	,972**	1
P ro medio de Gases nocivo s (%)	Sig. (bilateral)	0	
	N	18	18

El resultado obtenido para la correlación de Pearson es de  $r = 0,972$ . Según Tabachnick (2013) y la información proporcionada en la Figura 24, este valor indica una correlación negativa muy alta. En otras palabras, existe una fuerte relación inversa entre las variables analizadas, ya que el coeficiente de correlación negativo sugiere que cuando una variable aumenta, la otra tiende a disminuir de manera significativa.



Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a -0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a -0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a -0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 a -0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a -0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

**Figura 24.** Valor y Significado Tabachnick

A continuación, se presenta la tabla descriptiva que contiene información detallada sobre el ventilador principal axial y los niveles de gases nocivos asociados. Para obtener información específica, se puede consultar la Tabla 14.

**Tabla 14.**

*Tabla descriptivos*

Descriptivos			
		Estadístico	Error estándar
Media		938,192355	29,4775593
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	876,0001412	
	Límite superior	1000,384569	
Media recortada al 5%		935,8944	
Mediana		931,6118475	

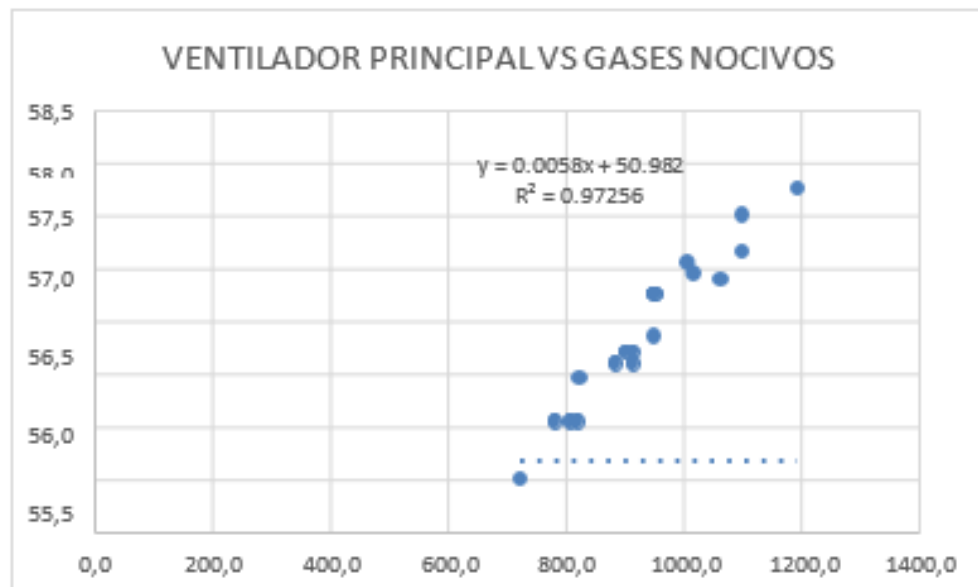
Ventilador principal axial  (m <sup>3</sup> /min)	Varianza		15640,677	
	Desviación estándar		125,0626924	
	Mínimo		723,855825	
	Máximo		1193,892075	
	Rango		470,03625	
	Rango intercuartil		204,935805	
	Asimetría		0,277	0,536
	Curtosis		-0,398	1,038
Promedio de Gases no vivos  (%)	Media		56,40833333	0,175326493
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	56,03842677	
		Límite superior	56,7782399	
	Media recortada al 5%		56,41203704	
	Mediana		56,275	
	Varianza		0,553	
	Desviación estándar		0,743847312	
	Mínimo		55	
	Máximo		57,75	
	Rango		2,75	
	Rango intercuartil		1,125	
	Asimetría		-0,019	0,536
	Curtosis		-0,619	1,038

En la siguiente figura se detalla la muestra de línea de correlación

**Tabla 15.**

*Correlaciones de muestras emparejadas*

<b>Correlaciones de muestras emparejadas</b>				
		N	Correlación	Sig.
Par 1	Ventilador principal axial (m3/min) & Promedio de Gases Nocivos (%)	18	,972	,000



**Figura 25.** *Gráfico de correlación ventilador axial vs gases nocivos*

Los resultados señalan una sólida asociación positiva entre las variables, evidenciada por una correlación significativa con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.97256.

Dado que hemos supuesto que los datos siguen una distribución normal y hemos identificado una correlación de Pearson elevada, hemos optado por realizar un test estadístico específico, en este caso, el test t de Student. Para obtener detalles adicionales sobre este análisis, puedes referirte a los resultados detallados en la Tabla 16.

**Tabla 16.**

*Prueba de T Student para Hipótesis General*

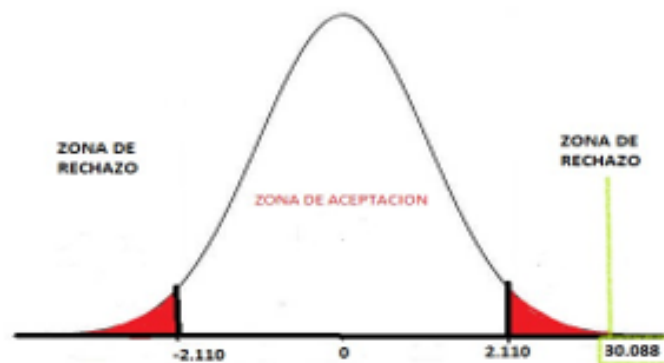
		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
Inferior	Superior								
Par 1	Ventilador principal (m3/min) - Gases nocivos (%)	881,784 02169	124,339 47520	29,3070 9537	819,951 45529	943,616 588	30,088	17	,000

Fuente: Elaboración propia.

**T Student**  
**T = 30,088**  
**Grado de Significancia = 0.000**

**Campana de Gauss:**

Usando la distribución normal, representada por la Campana de Gauss, hemos obtenido los valores críticos necesarios a través de la tabla de cuantiles. Estos valores son específicamente el valor crítico positivo y negativo, ambos equivalentes a +/- 2.110, y se han calculado con respecto a 17 grados de libertad. Puedes encontrar más detalles y referencias visuales en la Figura 26.



**Figura 26.** Campana de Gauss para Hipótesis General

El resultado del test T-Student es 30.088, y este valor cae en la región de rechazo. Como resultado, rechazamos la hipótesis nula. Para entender más a fondo la hipótesis alternativa, hemos llevado a cabo un análisis de las medias de

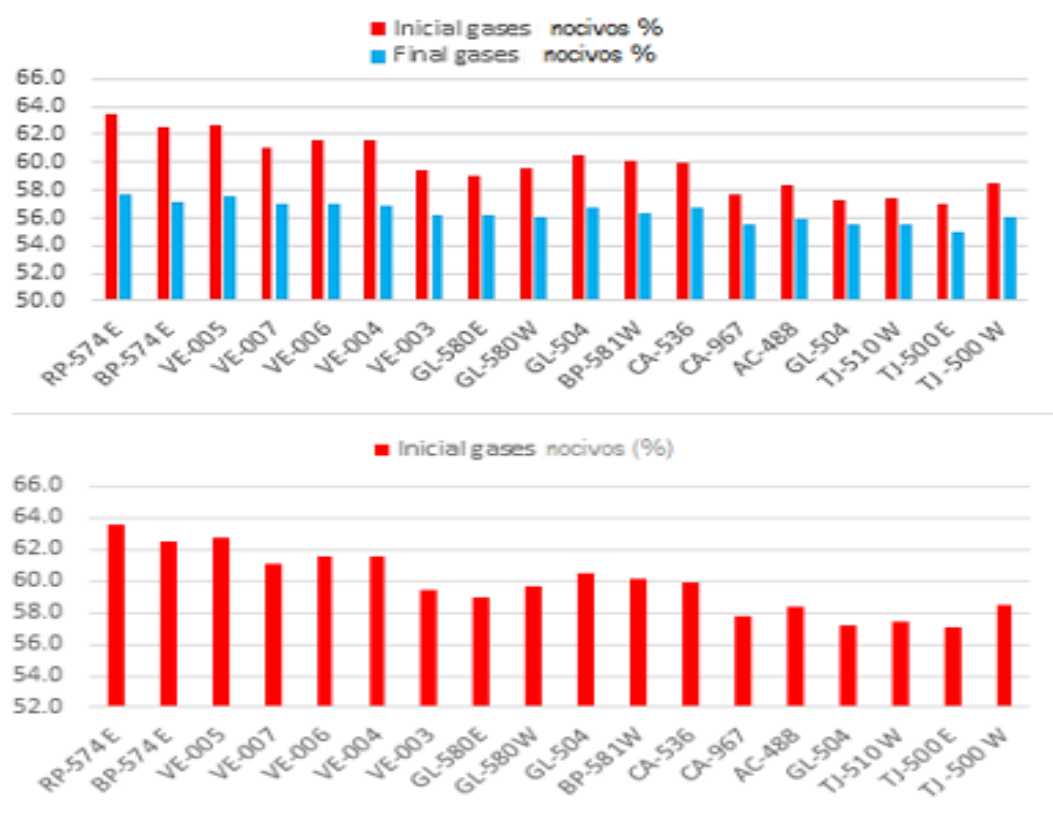
las mediciones de gases perniciosos antes y después de la influencia del ventilador principal. Los detalles de este análisis se encuentran en la Tabla 21.

**Tabla 17.**

*Prueba Estadística gases nocivos inicialmente y gases perniciosos luego de la influencia del ventilador principal*

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Inicial gases nocivos (%)	59,8744444	18	1,988907146	,46878991
	Final Gases nocivos (%)	56,4083333	18	,743847312	,175326493

Ahora, se proporcionan los datos estadísticos relacionados con los niveles de gases nocivos antes y después de la intervención del ventilador principal. Puedes consultar los detalles específicos en la Figura 27.



**Figura 27.** Comparativos de gases nocivos inicialmente y al final

### **Análisis estadístico:**

El valor calculado de  $t=30.088$  se encuentra en la región de rechazo, lo que conduce al rechazo de la hipótesis nula. Además, al comparar gráficamente los niveles de gases perniciosos al inicio y al final de la influencia del ventilador axial, que provoca la dilución de estos gases, se observa una disminución del 59.8744% al 56.4083%. Esta diferencia del 3.4661% indica una reducción en la concentración de gases nocivos. En base a estos resultados, se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo que hay una influencia directa del caudal de aire emitido por el ventilador axial de 60000 CFM, marca Airtec, en el nivel-1000 de la MINA ANDAYCHAGUA, Volcan S.A.A-2019 para la dilución de gases perniciosos.

### **Hipótesis Específicas**

#### **Hipótesis Especifica 1**

Influye la concentración de monóxido de carbono en la dilución de gases nocivos en el nivel- 1200 Mina Andaychagua, Volcan S.A.A-2019.

#### **Hipótesis Alterna**

Ha : Influye la concentración de monóxido de carbono en la dilución de gases nocivos en el nivel- 1200 Mina Andaychagua, Volcan S.A.A-2019.

#### **Hipótesis Nula**

Ho : La concentración de monóxido de carbono no influye en la dilución de gases nocivos en el nivel- nivel- 1200 Mina Andaychagua, Volcan S.A.A-2019.

Primero, llevamos a cabo una verificación para determinar si los datos siguen una distribución normal. Los detalles de este proceso se presentan a continuación.

### **Prueba de Normalidad:**

En el contexto de nuestro análisis, que se basa en 19 muestras de tajeos de nivel-970 de la Mina Andaychagua de Volcan S.A.A en el año 2019, hemos

realizado la prueba de normalidad utilizando el método de Shapiro-Wilk. Los resultados de esta prueba se encuentran detallados en la Tabla 18.

**Tabla 18.**

*Prueba de Normalidad para Hipótesis específica 1*

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Inicial Monóxido de carbono CO(PPM)	,951	18	,435
Final Monóxido de carbono CO(PPM)	,961	18	,627

**Tabla 19.**

*Prueba de normalidad vs significancia*

Normalidad		
0.929	>	0.05
0.890	>	0.05

En el análisis de las pruebas de normalidad, observamos que los valores obtenidos fueron 0.435 y 0.627, ambos superiores al nivel de significancia establecido de 0.05. Este resultado nos lleva a aceptar la premisa de que los datos de los tajeos se distribuyen normalmente. Con esta validación, avanzamos hacia la siguiente etapa del análisis, que consiste en la aplicación del test estadístico T-Student. Los detalles de este análisis se encuentran disponibles en la Tabla 20.

**Tabla 20.**

*Prueba de T Student para Hipótesis Especifica 1*

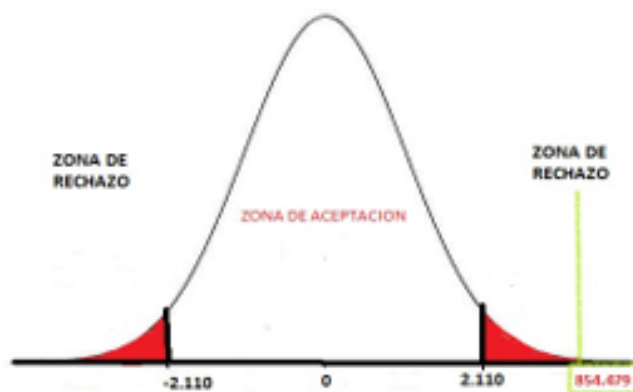
Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Inicial Monóxido de carbono CO(PPM) - Final Monóxido de carbono CO(PPM)	9,517	,0478	,0112	9,49	9,55	854,479	17	,000

Fuente: Elaboración propia.

**T Student**  
T = 854.479  
Grado de Significancia = 0.000

**Campana de Gauss:**

Utilizando la tabla de cuantiles, hemos obtenido los valores críticos necesarios, que son +/- 2.110, teniendo en cuenta los 17 grados de libertad. Puedes consultar la Figura 13 para visualizar estos valores y su aplicación en nuestro análisis.



**Figura 28.** Campana de Gauss para Hipótesis Especifica 1

Dónde:

El resultado obtenido en el test T-Student es 854.479, situándose en la región de rechazo, lo que lleva a la decisión de descartar la hipótesis nula. Para una comprensión más detallada de la hipótesis alternativa, hemos llevado a cabo



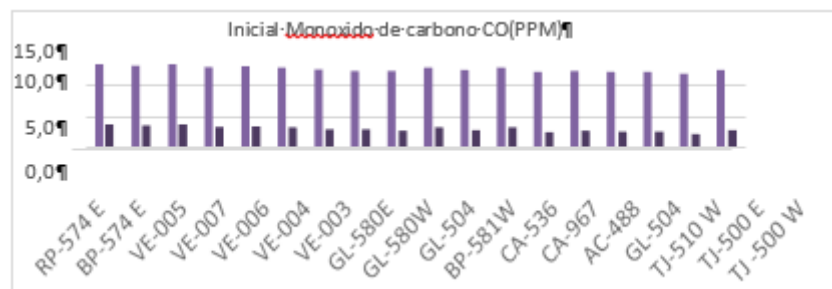
un análisis comparativo de las medias de las mediciones iniciales y finales de monóxido de carbono, ambos expresados en partes por millón (ppm). Estos resultados se encuentran detallados en la Tabla 21.

**Tabla 21.**

*Se muestran Emparejadas y Medias para Hipótesis Específica 1*

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Inicial Monóxido de carbono CO(PPM)	12,3061	18	,435729799	,102702498
	Final Monóxido de carbono CO(PPM)	2,7889	18	,43201	,10183

Además, se presenta de manera gráfica la información sobre los promedios de las mediciones iniciales y finales de monóxido de carbono, ambas expresadas en partes por millón (ppm), para cada uno de los tajeos. Puedes visualizar estos detalles en la Figura 29.



**Figura 29.** *Comparativo de monóxido de carbono inicial y monóxido de carbono final*

Se observa que los picos más elevados corresponden a las mediciones iniciales de monóxido de carbono, mientras que los picos más bajos se relacionan con las mediciones de monóxido de carbono al finalizar la implementación del ventilador principal, en este caso, el modelo Airtec de 60000 CFM. Esta

diferencia significativa en los niveles de partes por millón (ppm) se aprecia claramente y se detalla en el Cuadro 19.

### **Análisis estadístico:**

Dado que el valor calculado de  $t=854.479$  está en la región de rechazo, se rechaza la hipótesis nula. La diferencia entre las mediciones iniciales y finales se puede apreciar en la gráfica. En la comparación de medias, se observa una reducción de 12.3061 ppm a 2.7889 ppm, lo que representa una diferencia de 9.5172 ppm en la dilución de monóxido de carbono. Esta reducción se encuentra dentro de los límites establecidos por el reglamento DS N°024-2016 EM, que establece un tiempo medio moderado de exposición en concentración de monóxido de carbono de 25 ppm. En base a estos resultados, se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo que hay una influencia directa del caudal de aire emitido por el ventilador axial de 60000 CFM, marca Airtec, en el nivel-1000 Este de la Mina Andaychagua, Volcan S.A.A-2019 para la dilución de gases perniciosos.

### **Hipótesis Específica 2**

Influye la concentración de dióxido de carbono en la dilución de gases nocivos en el nivel- 1200 Mina Andaychagua, Volcan S.A.A-2019.

### **Hipótesis Alterna**

Ha: Influye la concentración de dióxido de carbono en la dilución de gases nocivos en el nivel- 1200 Mina Andaychagua, Volcan S.A.A-2019.

### **Hipótesis Nula**

Ho: La concentración de dióxido de carbono no influye en la dilución de gases perniciosos en el nivel -1200 Mina Andaychagua, Volcan

S.A.A-2019.

En primer lugar, verificamos si los datos provienen de una distribución normal, para ello detallo línea abajo.

**Prueba de Normalidad:**

En el contexto de nuestro análisis, que se sustenta en 18 muestras extraídas de los tajeos nivel-1000 de la Mina Andaychagua, propiedad de Volcan S.A.A en 2019, hemos realizado la prueba de normalidad utilizando el método de Shapiro-Wilk. Los resultados detallados de esta prueba se encuentran presentados en la Tabla 22.

**Tabla 22.**

*Prueba de Normalidad para hipótesis Especifica 2*

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Inicial Dióxido de carbono CO2(PPM)	,937	18	,258
final Dióxido de carbono CO2(PPM)	,975	18	,886

**Tabla 23.**

*Prueba de normalidad vs significancia*

Normalidad		
0.258	>	0.05
0.886	>	0.05

En este contexto:

Los valores de 0.258 y 0.886 que hemos obtenido son superiores al nivel de significancia. Por lo tanto, se acepta la premisa de que los datos de los tajeos provienen de una distribución normal.

Con esta confirmación de que los datos siguen una distribución normal,

procedemos a llevar a cabo el test estadístico conocido como T de Student. Para obtener detalles específicos sobre los resultados de este análisis, puedes referirte a la Tabla 24

**Tabla 24.**

*Prueba T Student para Hipótesis específica 2*

		Prueba de muestras emparejadas							Sig. (bilateral)
		Diferencias emparejadas				t	gl		
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Inicial Dióxido de carbono CO <sub>2</sub> (PPM) - final Dióxido de carbono CO <sub>2</sub> (PPM)	247,2	11,8	2,7778	241,4	253,1	89	17	,000

Fuente: Elaboración propia.

**Campana de Gauss:**

Mediante la tabla de cuantiles, se obtiene los valores de: valor crítico +/- 2.110 y grados de libertad de 17, (Ver figura 30).



**Figura 30.** Campana de Gauss para Hipótesis específica 2.

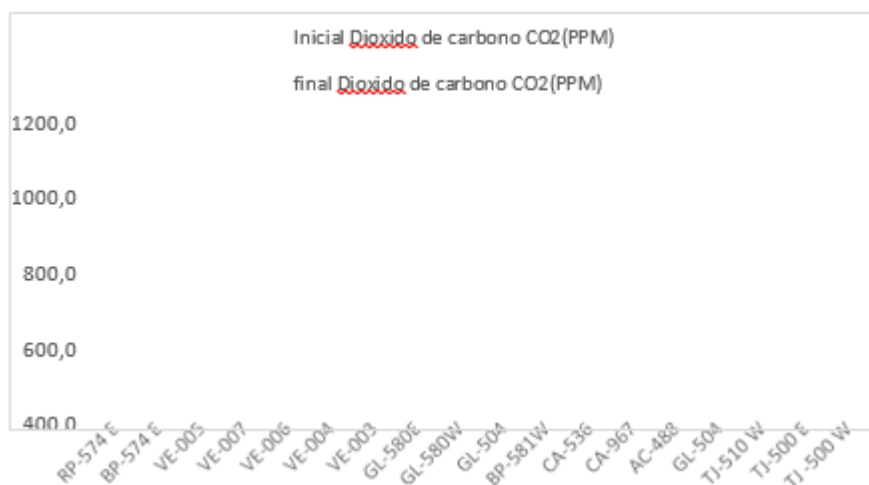
**Tabla 25.**

*Muestras emparejadas de la hipótesis específica 2*

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Inicial Dióxido de carbono CO <sub>2</sub> (PPM)	971,11	18	60,185	14,186
	Final Dióxido de carbono CO <sub>2</sub> (PPM)	723,8888889	18	65,0012569	15,32094318

**En este contexto:**

El resultado se encuentra en la región de rechazo, lo que implica que la hipótesis nula es descartada. Ahora, dirigiremos nuestro análisis hacia la hipótesis alternativa, utilizando las medidas tomadas al inicio y al final del dióxido de carbono, que se encuentran detalladas en la Figura 31.



**Figura 31.** Comparativo de dióxido de carbono inicial y dióxido de carbono final

**Análisis estadístico:**

Dado que el valor calculado de  $t=89$  se encuentra en la región de rechazo, se rechaza la hipótesis nula. La diferencia entre las mediciones iniciales y finales es evidente en la gráfica. Al comparar las medias, se observa una reducción de 971.11 ppm a 723.89 ppm, lo que implica una diferencia de 247.22 ppm en la

dilución de dióxido de carbono. Esta disminución se encuentra dentro de los límites establecidos por el reglamento DS N°024-2016 EM, que establece un tiempo medio moderado de exposición en concentración de monóxido de carbono de 5000 ppm. En base a estos resultados, se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo que hay una influencia directa del caudal de aire emitido por el ventilador axial de 60000 CFM, marca Airtec, en el nivel-1000 de la Mina Andaychagua, Volcan S.A.A-2019 para la dilución de gases nocivos.

#### **4.4. Discusión de Resultados**

El ventilador principal marca Airtec de 60000 CFM demuestra una significativa mejora en los tajeos del nivel-1200, según lo respaldado por Pablo Jiménez Ascanio en su obra "Ventilación de Minas Subterráneas y Túneles". El autor destaca la eficacia y versatilidad del ventilador axial, que lo convierte en una opción preferida debido a su fácil instalación, transporte y mantenimiento.

Centeno (2011), en su tesis sobre la evaluación de ventilación en una mina en Arequipa, también respalda la eficacia de la ventilación mecánica, concluyendo que el uso de un ventilador principal mejora la ventilación en galerías proyectadas y contribuye a la reducción de gases nocivos.

Asimismo, Suty (2016) destaca en su tesis sobre la influencia de la ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación de una mina en Puno, que la instalación de un circuito de ventilación minimiza la recirculación de aire viciado y reduce la concentración de gases nocivos, resultados que se asemejan a los obtenidos en la investigación en la Mina Andaychagua.

En conclusión, la presente investigación, basada en las evidencias y conclusiones de estudios anteriores, sugiere que la implementación de la ventilación mecánica mediante el ventilador principal axial de 60000 CFM de la

marca Airtec tendrá beneficios similares en la dilución de gases nocivos en el nivel-1200 de la Mina Andaychagua, perteneciente a Volcan Cía. Minera SAA.

## CONCLUSIONES

1. En el nivel -1200 de Mina Andaychagua-Volcán S.A.A, se llevó a cabo la medición inicial del sistema de ventilación, obteniendo un flujo de aire de 55,034.83 CFM. A medida que se incrementaban los gases perniciosos, se observó la necesidad de diluirlos para mantener un ambiente seguro. Para lograr una cobertura total de aire fresco, se decidió instalar un ventilador axial de la marca Airtec con una capacidad de 60,000 CFM, proporcionando una cobertura del 92.3%. Esto garantiza las condiciones adecuadas para el trabajo diario en los tajeos, cumpliendo con las necesidades de personal y equipos.
2. Como resultado de esta solución, la concentración de gases nocivos disminuyó del 59.87% al 56.408%. Además, gracias al aumento en el caudal de aire, se logró incrementar el nivel de oxígeno (O<sub>2</sub>) del 19.2% al 19.752%, manteniéndose dentro de los límites establecidos por el DS N° 024-2016-EM. Estos ajustes en el sistema de ventilación aseguran un entorno laboral seguro y saludable para llevar a cabo las actividades diarias en la mina.
3. En un contexto previo, se realizó una medición inicial del monóxido de carbono con un analizador de gases, arrojando un valor de 12.306 ppm, el cual está dentro de los límites permitidos por el DS N° 024-2016-EM (menor a 25 ppm). Sin embargo, se buscaba mejorar esta situación para prevenir posibles acumulaciones en otros puntos. Gracias a la presencia del ventilador axial de 60,000 CFM de la marca Airtec, se logró una dilución promedio de 2.7889 ppm. Posteriormente, se ha optimizado este proceso de dilución con una efectividad del 95%, manteniendo concentraciones mínimas de monóxido de carbono.
4. Este éxito se atribuye al aumento del flujo de aire, que facilita la rápida dilución del gas, y se lleva a cabo una medición cada 15 días para un monitoreo efectivo de los



gases nocivos. Esta estrategia no solo previene la acumulación peligrosa de monóxido de carbono, sino que también contribuye a mejorar el rendimiento y la seguridad de los trabajadores, evitando accidentes por gaseamiento y enfermedades ocupacionales.

5. Es esencial mantener un tiempo medio moderado por 8 horas con concentraciones de monóxido de carbono por debajo de 5000 ppm, lo cual se ha logrado con resultados positivos. Este enfoque tiene como objetivo principal proporcionar un entorno laboral que garantice confort y seguridad para los trabajadores.
6. Para lograr el nivel apropiado de ventilación, es esencial comprender a fondo la estructura de la red de ventilación, sus dimensiones y los requisitos específicos de caudal, velocidad y presión dentro de la mina. Obtener estos datos de manera precisa es crucial para garantizar un flujo de aire efectivo. Por lo tanto, es fundamental emplear de manera adecuada los equipos de medición para establecer un sistema de ventilación óptimo.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda seguir utilizando el ventilador principal debido a su versatilidad y fácil integración en el sistema de ventilación. Esto garantiza un caudal de aire adecuado tanto en calidad como en cantidad para la dilución efectiva de gases nocivos. Además, se recomienda realizar mediciones precisas de gases para realizar cálculos más exactos.
2. Se sugiere considerar la implementación de instrumentos completos para cada indicador y llevar a cabo un monitoreo periódico de las labores ciegas y confinadas. Es crucial cumplir con los horarios de activación y desactivación de los ventiladores, así como supervisar su funcionamiento de manera adecuada.
3. Durante las etapas de carguío de taladros, se aconseja tener precaución en la secuencia de salida de cada uno de ellos, siguiendo el principio de que, a mayor cara libre, menor será la incertidumbre relacionada con el sople de disparo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cheng, L., Ueng, T.H., & Liu, C. (2001). Simulación de ventilación e incendios en instalaciones subterráneas. *Fire Safety Journal*, 597-619.
- Hebda Sobkowicz, J., Gola, S., Zimroz, R., & Wyłomańska, A. (2019). Patrón de H2S concentración en una mina de cobre profunda y su correlación con el programa de ventilación. *Measurement*, 373-381.
- Herrera Herbert, J. (2019). *Introducción a la ventilación minera*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid.
- Krasyuk, A., Lugin, I., & Alferova, E. (2016). Evaluación de los diagramas de flujo de ventilación para túneles de metro de doble línea sin cámaras de aire. *J Min Sci*, 740–751 .
- Lozano Soto, P. A. (2019). *Incremento de capacidad de ventilación en zonas de Cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.* ". Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Peru.
- Mena Salas, A. E. (2013). *Planeamiento de minado subterráneo para vetas angostas: caso práctico; mina "Esperanza de Caravelí" de Compañía Minera Titán S.R.L.* Lima: Ponticia Universidad Catolica del Peru.
- Rivera, A. (2022). *La importancia de un modelo de ventilación en operaciones mineras subterráneas*. Lima: Universidad Continental.
- Rueda, N., Toro, S., & Zuleta, R. (2012). Optimización del sistema de ventilación en una mina de gran altura, Compañía Minera Raura. *University of Utah, Dept. of Mining Engineering*, 591-598.
- Teodosiu, C., Ilie, V., & Dumitru, R. (2016). Assessment of ventilation efficiency for emergency situations in subway systems by CFD modeling. *Build. Simul*, 319–334.

- Ureta Molina, I. (2019). *Instalación del sistema de ventilación del túnel de conducción subterráneo de minas - Minera Milpo Andina*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Peru.
- Xu, G., Huang, J., Nie, B., Chalmers, D., & Yang, Z. (2018). Calibración de modelos de redes de ventilación de minas mediante el algoritmo de optimización no lineal. *Energies*, 11-31.
- R. Hernandez S. (2014) *Metodología de La Investigación*, 5ta Edición: Mcgraw-Hill
- Muñoz, R. C. (2011). *Como Elaborar Y Asesorar Una Investigacion De Tesis*. Mexico: Pearson
- Anibal, M. T. (1981). *Ventilacion De Minas*. Huancayo.
- Ascanio Jimenez, P. (2011). *Ventilacion De Minas Y Tuneles, Practica, Aplicada Y Avanzada En Minería Clasica Y Minería Por Trackless*. Lima: Primera Edición.
- Istec. (2006). *Ventilacion Avanzada Para Minería*. Lima: Loma Export S.A.
- Ramirez. (2005). *Ventilacion Minas. "Modulo De Capacitacion Tecnico Ambiental"*. Lima: Chaparra Peru.
- Zamudio, V. I. (2018). *Diseño De Ventilacion Nv-4050 Veta Don Ernesto Unidad Minera El Porvernir*. Huancayo.
- Sutty, J (2016) En Su Tesis "Influencia De La Ventilación Mecánica, En El Diseño Del Sistema De Ventilación Del Nivel 4955 Mina Urano Sac – Puno.
- Enrique Ramos, J. R. (2011). *Evaluacion De Sistema De Ventilacion De La Mina San Vicente - Compañía San Ignacio De Morococha Aplicando El Software Ventsim 3.9*. Puno.
- Giménez, A. (1999). *Ventilacion De Minas Subterranea Y Tuneles*. Lima. Hartman
- Howard, L. (2001). *Mine Ventilation And Air Conditioning*. New York: Krieger Publishing Company.

Iimp (Instituto De Ingenieros De Mina Del Peru), (1989). Manual De Ventilacion De Minas.Lima

Aguero Zarate, H. O., & Alvares Ticllasuca, H. (2012). Influencia De Ventilacion Natural Y Mecanica En El Diseño De Sistema De Ventilacion De Las Galerias Del Nivel 1950 Mina- Calpa. Arequipa.

Reinaldo, R. S. (2013). Calculo De Parametros Y Diseño De La Red De Ventilacion En Labores De Veta Clara De Acuerdo Al D.S. 055-2010 Em. En Mina San Juan De Churunga. Arequipa.

Sacsi Umasi, R. (2013). Calculo De Parametros Y Diseño De La Red De Ventilacion En Labores De Veta Clara De Acuerdo Al D.S. 055-2010 Em. En Mina San Juan De Churunga. Arequipa.

#### CITAS WEB.

Argentina, C. B. (2018, noviembre 10). google. Retrieved from google:  
[http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria\\_de\\_los\\_ventiladores.htm](http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm)

Cutipa, A. J. (2014). scribd.com. Retrieved from scribd.com:  
<https://es.scribd.com/document/359613612/Borrador-de-Tesis>

EIRL, C. 2006, agosto lunes). geco.mineroartesanal. Retrieved from  
geco.mineroartesanal:[http://geco.mineroartesanal.com/tikizownload\\_wiki\\_attachment.php?attId=637](http://geco.mineroartesanal.com/tikizownload_wiki_attachment.php?attId=637).

Induambiente. (2010, marzo martes). Induambiente. Retrieved from Induambiente:  
<https://www.induambiente.com/informe-tecnico/climatizacion/ventilacion-subterra>.

Peruana, u. A. (2005).scribd. Retrieved from sribd:

[https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2005/2/MI57G/1/material\\_docente/bajar?id](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2005/2/MI57G/1/material_docente/bajar?id)

## **ANEXOS**

# ANEXO 1

## Instrumentos de recolección de datos

Microsoft Excel - DATOS DE TESIS - Excel

VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A. **INFORME VENTILACION**

Unidad Yauli **VENT-001-2018**

**A:** Ing. Augusto Ponte (Spte. Planeamiento San Cristobal- Carahuacra)  
**De:** Ing. Walter Mariñas. (Ing de ventilación)  
**Asunto:** MAPEO DE VENTILACION NV.970E

Ubicacion	Inicial Velocidad (m/min)	Inicial Caudal (m3/min)	Inicial oxigeno (O2%)	Inicial Monóxido de carbono (CO2PPM)	Inicial Dióxido de carbono (CO2PPM)	Inicial gases perniciosos (%)	Final Velocidad (m/min)	Final Caudal (m3/min)	Final oxigeno (O2%)	Final Monóxido de carbono (CO2PPM)	Final Dióxido de carbono (CO2PPM)	Final gases perniciosos (%)
BP-574 E	60.3	1133.7	19.6	13.0	1050.0	63.5	63.5	1193.9	20.1	3.5	850.0	57.8
BP-574 E	55.3	1039.7	19.5	12.8	1020.0	62.5	58.5	1099.9	20.0	3.3	770.0	57.2
VE-005	50.5	949.5	19.5	13.0	1050.0	62.7	58.5	1099.9	20.0	3.5	800.0	57.5
VE-007	50.3	945.7	19.3	12.6	1040.0	61.0	53.5	1005.9	19.9	3.1	780.0	57.1
VE-006	41.8	785.9	19.4	12.7	1000.0	61.6	54.0	1015.3	19.9	3.2	750.0	57.0
VE-004	45.3	851.7	19.4	12.5	1030.0	61.6	56.5	1062.3	19.9	3.0	780.0	56.9
VE-003	44.7	840.4	19.2	12.2	950.0	59.4	47.9	900.6	19.7	2.7	700.0	56.3
GL-580E	45.4	853.6	19.1	12.0	950.0	59.0	48.6	913.8	19.7	2.7	700.0	56.2

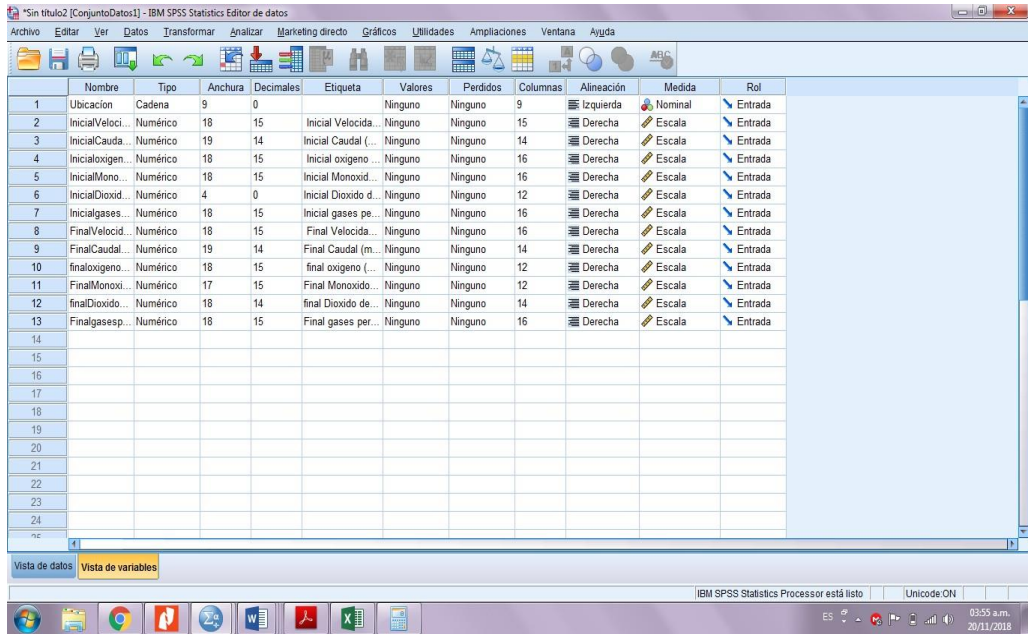
Base de datos Excel: NIVEL-1200 Mina Andaychagua, VOLCAN S.A.A

\*Sin titulo2 [ConjuntoDatos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

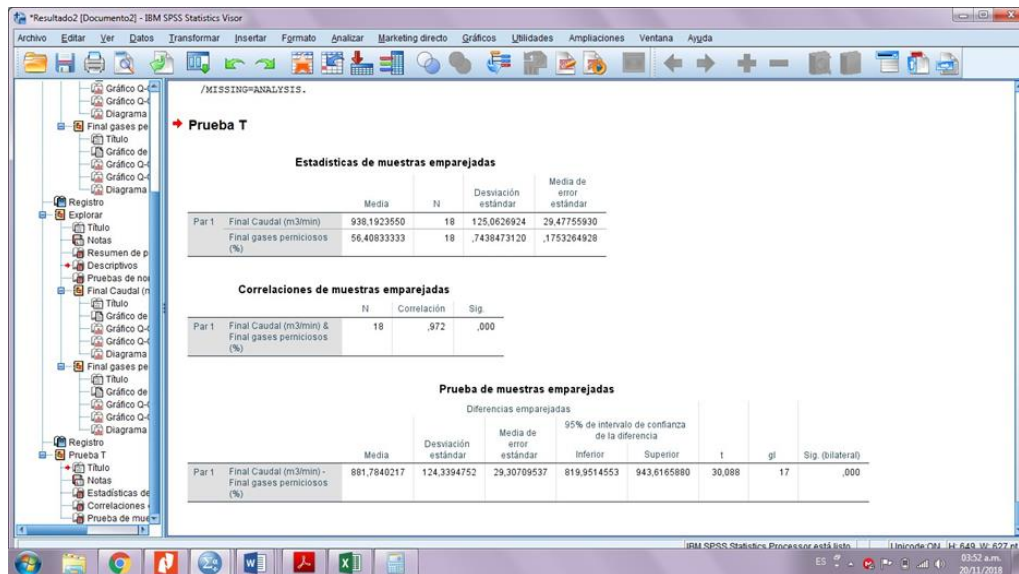
20: Inicialgasesperniciosos

Ubicacion	InicialVelocidadm/min	InicialCaudalm3min	InicialoxigenoO2	InicialMonoxidodecarb onocOPPM	InicialDioxidode carbonocO2PPM	Inicialgasesperniciosos	FinalVelocidadm/min	FinalCaudalm3min
1	RP-574 E	60.3000000000000000	1133.72734999999980	19.5600000000000002	13.0300000000000000	63.5300000000000015	63.5000000000000000	1193.89207500000000
2	BP-574 E	55.3000000000000000	1039.72018500000000	19.4600000000000000	12.8299999999999998	62.4966666666666670	58.5000000000000000	1099.88482499999990
3	VE-005	50.5000000000000000	949.47322500000000	19.4600000000000000	13.0300000000000000	62.6966666666666670	58.5000000000000000	1099.88482499999990
4	VE-007	50.3000000000000000	945.71293499999990	19.3100000000000002	12.6000000000000000	61.0466666666666680	53.5000000000000000	1005.87757500000000
5	VE-006	41.8000000000000000	785.90060999999990	19.3600000000000000	12.7300000000000000	61.5633333333333330	54.0000000000000000	1015.27830000000000
6	VE-004	45.3000000000000000	851.70568499999990	19.3900000000000000	12.5300000000000000	61.6133333333333340	56.5000000000000000	1062.28192500000000
7	VE-003	44.7000000000000000	840.42481500000000	19.1600000000000000	12.2300000000000000	59.3966666666666670	47.9000000000000006	900.58945500000000
8	GL-580E	45.3999999999999990	853.58582999999980	19.1100000000000000	12.0300000000000000	58.9800000000000000	48.5999999999999994	913.75046999999990
9	GL-580W	45.3999999999999990	853.58582999999980	19.2100000000000000	12.0300000000000000	59.6133333333333344	48.5999999999999994	913.75046999999990
10	GL-504	50.3000000000000000	945.71293499999990	19.2600000000000000	12.5300000000000000	60.5300000000000010	50.5000000000000000	949.47322500000000
11	BP-581W	47.3000000000000000	889.30858499999990	19.2600000000000000	12.1299999999999999	60.1300000000000010	50.5000000000000000	949.47322500000000
12	CA-536	44.3000000000000000	832.90423499999990	19.1900000000000000	12.5300000000000000	59.9466666666666670	50.5000000000000000	949.47322500000000
13	CA-967	36.5000000000000000	686.25292500000000	19.0100000000000000	11.8299999999999998	57.7466666666666680	41.5000000000000000	780.26017500000000
14	AC-488	35.6000000000000000	669.33162000000000	19.0600000000000002	12.0300000000000000	58.3633333333333350	43.8000000000000000	823.50350999999990
15	GL-504	35.0000000000000000	658.05075000000000	18.9400000000000000	11.8799999999999999	57.2133333333333340	42.8000000000000000	804.70206000000000
16	TJ-510 W	40.3000000000000000	757.69843499999990	18.9600000000000000	11.8799999999999999	57.3799999999999995	43.5000000000000000	817.86307500000000
17	TJ-500 E	35.3000000000000000	663.69118499999990	18.9600000000000000	11.5300000000000000	57.0300000000000000	38.5000000000000000	723.85582500000000
18	TJ -500 W	43.8000000000000000	823.50350999999990	19.0600000000000002	12.1299999999999999	58.4633333333333345	47.0000000000000000	883.68150000000000





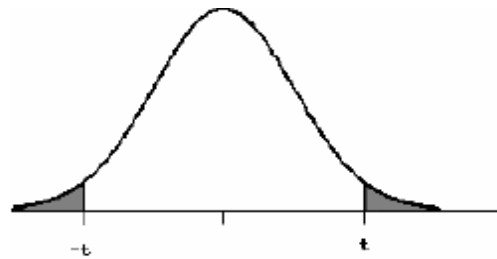
Promedio de datos de tajeos del 2018 – 2019 en el software Spss Statistics versión 25



Prueba de T Student en el software Spss Statistics versión

ETIQUETA DE DATOS DE 2018 – 2019 EN EL SOFTWARE SPSS STATISTICS VERSIÓN 114

## Anexo 2 Cuadro T- Student



(a) El área de las dos colas está sombreada en la figura.

(b) Si  $H_A$  es direccional, las cabeceras de las columnas deben ser divididas por 2 cuando se acota el P-valor.

gl	ÁREA DE DOS COLAS						
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001	0,0001
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619	6366,198
2	1,886	2,920	4,303	6,695	9,925	31,598	99,992
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924	28,000
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610	15,544
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869	11,178
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959	9,082
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408	7,883
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041	7,120
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781	6,594
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587	6,211
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437	5,921
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318	5,694
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221	5,513
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140	5,363
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073	5,239
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015	5,134
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965	5,044
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922	4,966
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883	4,897
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850	4,837
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819	4,784
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792	4,736
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767	4,693
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745	4,654
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725	4,619
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707	4,587
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690	4,558
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674	4,530
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659	4,506
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646	4,482
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551	4,321
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460	4,169
100	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,390	4,053
140	1,288	1,656	1,977	2,353	2,611	3,361	4,006
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291	3,891

Fuente: <https://www.slideshare.net/francisolverocascue/t-studentdoscolas-26990966?omobile=true>

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO DE TESIS: INFLUENCIA DEL VENTILADOR AXIAL EN LA DMINUCION DE  
GASES PERNICIOSOS DEL NIVEL 1200 – MINA ANDAYCHAGUA, VOLCAN SAA. – 2019

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADOR ES</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>DISEÑO</b>
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable Independiente</b>		<b>Población</b>	<b>Método</b>
¿Cómo el ventilador axial influye en la dilución de gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA. - 2019?	Determinar como influye el ventilador axial en la dilución de gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA. - 2019	El ventilador axial influye positivamente en la dilución de gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA. - 2019	VENTILADOR AXIAL	- Caudal (CFM)	Nivel - 1200 Mina Andaychagua VolcanCía. Minera SAA. 2019	Experimental  <b>Nivel de Investigación</b>  Aplicativo
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>INDICADOR ES</b>	<b>Muestra</b>	
a) ¿De que manera el ventilador axial influye en la dilución de la concentración de monóxido de carbono y gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua	a) Calcular la concentración de monóxido de carbono en la dilución de gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA. - 2019	a) Influye el ventilador axial favorablemente en la dilución de la concentración de monóxido de carbono y de gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA.	GASES PERNICIOSOS	. CO(PPM)	- TJ 550 - TJ 560 - TJ 570	<b>Diseño de la Investigación</b>  Es de Tipo Experimental

Volcan SAA. - 2019?		2019			Correlac ional
b) ¿Cuánto influye la concentración de dióxido de carbono en la dilución de gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA. - 2019?	b) Medir la concentración de dióxido de carbono en la dilución de gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA. - 2019	b) Influye el ventilador axial adecuadamente en la dilución de la concentración de dióxido de carbono y de gases perniciosos del Nivel - 1200 Mina Andaychagua Volcan SAA. - 2019		CO 2	

Anexo 4

Haciendo la toma de medidas para el levantamiento de la ventilación

