

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“SISTEMA DE VENTILACIÓN EN EL NIVEL 2735 DE LA  
MINA SAN JORGE – SAYAPULLO – LA LIBERTAD 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Christian Ramirez Neyra

Asesor:

Ing. Jesús Gabriel Vilca Pérez

Trujillo - Perú

2021



## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico a Dios, a mi familia y todos mis amigos y compañeros que me acompañaron tanto en lo académico como en lo personal ya que sin ellos no hubiera podido culminar esta etapa académica y esta investigación. Quiero que sepan que esta unión jamás será rota y que siempre tratare de mantenerla porque con el tiempo aprendí el valor de cada persona en esta vida y es por ello que siempre tratare de preservarla.

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi familia porque a pesar de que no siempre nos lleváramos bien son parte de mi motor de realizar cada cosa en mi vida, me dan un sentido y por ello me siento muy agradecido con ellos. Quiero agradecer a cada profesor que me toco en la universidad ya que me enseñaron tanto académicamente como personal, sé que no me lleve con la mayoría muy bien al comienzo, pero como es la vida, siempre tienen un buen comentario a pesar de todo y un aprecio que me impulsa a seguir mejorando. A mis amistades ya que su apoyo incondicional tanto académicamente como personal me permitió tener una convivencia tanto académica como personal además de que por medio de sus experiencias y experimentando las mías con ellas me permitieron aprender mucho respecto a que cosas debo y no debo realizar, todo con el fin de mejorar. Es por todo esto que siempre estaré agradecido con ustedes y que siempre contarán con una persona que jamás dirá un no cuando se trate de ayudar, que siempre estaré ahí para cuando exista un problema. Saben cómo soy, siempre al servicio de quienes siempre estuvieron para mí, siempre cuidándolos.

## Tabla de contenido

DEDICATORIA-----	2
AGRADECIMIENTO-----	3
ÍNDICE DE TABLAS-----	6
ÍNDICE DE FIGURAS-----	7
INDICE DE ECUACIONES -----	9
RESUMEN-----	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN-----	11
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA-----	24
1.2. OBJETIVOS-----	25
<i>Objetivo general</i> -----	25
<i>Objetivos específicos</i> -----	25
1.3. HIPÓTESIS-----	25
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN-----	26
<i>Enfoque</i> -----	26
<i>Diseño</i> -----	26
<i>Tipo</i> -----	26
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA-----	26
2.3. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS-----	26
<i>Métodos</i> -----	26
<i>Técnicas</i> -----	26
<i>Instrumentos</i> -----	27
2.4. PROCEDIMIENTO-----	27
<i>Análisis de la problemática de la ventilación en la mina San Jorge.</i> -----	27
<i>Selección de la ley de Atkinson para el diseño de un sistema de ventilación</i> -----	27
<i>Desarrollo de la Ley de Atkinson de acuerdo a los parámetros operacionales de la mina San Jorge para el diseño del sistema de ventilación.</i> -----	29
<i>Cálculo de la ley de Atkinson desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31”.</i> -----	30
<i>Cálculo del área promedio desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31” de la galería de la mina San Jorge.</i> -----	30
<i>Cálculo del perímetro promedio desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31” de la galería de la mina San Jorge.</i> -----	34
<i>Longitud desde la boca mina hasta el punto topográfico “J31”.</i> -----	39
<i>Cálculo del caudal total del aire de la galería minera desde boca mina hasta “J31”</i> -----	39
<i>Cálculo de la densidad del aire de la galería minera</i> -----	41
<i>Cálculo del coeficiente de fricción</i> -----	43
<i>Cálculo de la ley de Atkinson desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56”</i> -----	44
<i>Cálculo del área promedio desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56” de la galería de la mina San Jorge.</i> -----	44
<i>Cálculo del perímetro promedio desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56” de la galería de la mina San Jorge.</i> -----	49
<i>Longitud desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56”</i> -----	54
<i>Cálculo del caudal total del aire de la galería minera desde “J31” hasta “J56”</i> -----	54
<i>Propuesta de diseño de sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge.</i> -----	55
<i>Selección de los ventiladores de acuerdo a las características de la galería San Jorge</i> -----	55
<i>Costo del sistema de ventilación para la galería de la mina San Jorge</i> -----	55
<i>Localización de los ventiladores axiales en la galería de la mina San Jorge</i> -----	56
<i>Comparación de la demanda de aire en la galería de la mina</i> -----	56
<i>Análisis económico del diseño del sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge</i> -----	57

<i>Validez y confiabilidad de la información</i> .....	59
<i>Para analizar la información</i> .....	59
<i>Aspectos éticos de la investigación</i> .....	60
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS</b> .....	61
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DE LA VENTILACIÓN EN LA GALERÍA DE LA MINA. ....	61
RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DE LA LEY DE ATKINSON PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN. ....	62
RESULTADOS DE LA PROPUESTA DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN BAJO LOS PARÁMETROS DE LA LEY DE ATKINSON. ....	63
<i>Tipo ventilador a utilizar en la mina San Jorge de acuerdo a los resultados del caudal del aire y de las presiones</i> .....	63
<i>Tipo de ventilación para la galería de la mina San Jorge</i> .....	63
<i>Manga de ventilación de acuerdo a las características de la galería de la mina San Jorge</i> .....	64
<i>Ubicación de los ventiladores en la galería de la mina San Jorge</i> .....	65
RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE LA DEMANDA DEL AIRE DE LA MINA .....	68
RESULTADO DEL ANÁLISIS ECONÓMICO DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN USANDO EL VAN Y EL TIR. ....	69
4.1. DISCUSIÓN.....	72
4.2. CONCLUSIONES .....	73
REFERENCIAS .....	74
ANEXOS .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COEFICIENTE DE FRICCIÓN PARA MINAS METÁLICAS - ESTANDARIZADOS PARA EL NIVEL DEL MAR. ....	21
TABLA 2. ÁREAS TOMADAS DE LA GALERÍA DESDE LA "BOCAMINA" HASTA EL PUNTO TOPOGRÁFICO "J31" .....	34
TABLA 3. PERÍMETROS TOMADOS DE LA GALERÍA DESDE LA "BOCAMINA" HASTA EL PUNTO TOPOGRÁFICO "J31" .....	38
TABLA 4. ÁREAS TOMADAS DE LA GALERÍA DESDE EL PUNTO TOPOGRÁFICO "J31" HASTA EL PUNTO TOPOGRÁFICO "J56" .....	49
TABLA 5. PERÍMETROS TOMADOS DE LA GALERÍA DESDE EL PUNTO TOPOGRÁFICO "J31" HASTA EL PUNTO TOPOGRÁFICO "J56" .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS ÁREAS DE LA GALERÍA .....	14
FIGURA 2. PARTE CIRCUNFERENCIAL DE LA GALERÍA .....	15
FIGURA 3. PARTE DEL RECTÁNGULO DE LA GALERÍA .....	15
FIGURA 4. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS LADOS DE LA GALERÍA PARA EL CÁLCULO DEL PERÍMETRO TOTAL DE ESTE.....	16
FIGURA 5. LAS TRES FÓRMULAS PARA HALLAR EL ÁNGULO DE UN TRIÁNGULO RECTÁNGULO .....	17
FIGURA 6. FÓRMULAS DE LAS CUATRO ESCALAS VIGENTES DE LA TEMPERATURA. ....	20
FIGURA 7. VENTILADOR AXIAL.....	22
FIGURA 8. VENTILACIÓN IMPELENTE.....	22
FIGURA 9. MANGA DE VENTILACIÓN .....	23
FIGURA 10. ANÁLISIS DE LA FÓRMULA DE ATKINSON Y LA IMPORTANCIA DE CADA UNO DE SUS VARIABLES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	28
FIGURA 11. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 1, BOCA MINA - "J31").....	30
FIGURA 12. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 2, BOCA MINA - "J31").....	31
FIGURA 13. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 3, BOCA MINA - "J31").....	31
FIGURA 14. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 4, BOCA MINA - "J31").....	32
FIGURA 15. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 5, BOCA MINA - "J31").....	32
FIGURA 16. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 6, BOCA MINA - "J31").....	33
FIGURA 17. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 7, BOCA MINA - "J31").....	33
FIGURA 18. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 1, BOCA MINA - "J31").....	35
FIGURA 19. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 2, BOCA MINA - "J31").....	35
FIGURA 20. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 3, BOCA MINA - "J31").....	36
FIGURA 21. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 4, BOCA MINA - "J31").....	36
FIGURA 22. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 5, BOCA MINA - "J31").....	37
FIGURA 23. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 6, BOCA MINA - "J31").....	37
FIGURA 24. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 7, BOCA MINA - "J31").....	38
FIGURA 25. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 1, "J31 - "J56") .....	45
FIGURA 26. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 2, "J31 - "J56") .....	46
FIGURA 27. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 3, "J31 - "J56") .....	46
FIGURA 28. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 4, "J31 - "J56") .....	47
FIGURA 29. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 5, "J31 - "J56") .....	47
FIGURA 30. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 6, "J31 - "J56") .....	48
FIGURA 31. CÁLCULO DEL ÁREA. PUNTO DE MEDICIÓN 7, "J31 - "J56") .....	48
FIGURA 32. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 1, "J31 - "J56" .....	50
FIGURA 33. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 2, "J31 - "J56" .....	50
FIGURA 34. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 3, "J31 - "J56" .....	51
FIGURA 35. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 4, "J31 - "J56" .....	51
FIGURA 36. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 5, "J31 - "J56" .....	52
FIGURA 37. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 6, "J31 - "J56" .....	52
FIGURA 38. CÁLCULO DEL PERÍMETRO. PUNTO DE MEDICIÓN 7, "J31 - "J56" .....	53
FIGURA 39. INGRESOS DE LA MINA SAN JORGE EN EL AÑO 2020.....	58
FIGURA 40. EGRESOS DE LA MINA SAN JORGE EN EL AÑO 2020.....	58
FIGURA 41. RESULTADOS DEL CAUDAL DEL AIRE POR VENTILACIÓN NATURAL DESDE ENERO A JUNIO DEL 2020 .....	61
FIGURA 42. RESULTADOS DEL CAUDAL DEL AIRE POR VENTILACIÓN NATURAL DESDE JULIO A DICIEMBRE DEL 2020.....	61
FIGURA 43. RESULTADOS DE LA FÓRMULA ATKINSON PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN EN LA GALERÍA DE LA MINA SAN JORGE .....	62
FIGURA 44. TIPO DE VENTILADOR A UTILIZAR EN LA MINA SAN JORGE DE ACUERDO A LOS RESULTADOS DEL CAUDAL DEL AIRE Y DE LAS PRESIONES.....	63
FIGURA 45. TIPO DE VENTILACIÓN A UTILIZAR EN LA GALERÍA DE LA MINA SAN JORGE .....	64
FIGURA 46. MANGA DE VENTILACIÓN PARA LA MINA SAN JORGE .....	64
FIGURA 47. UBICACIÓN DE LOS VENTILADORES EN LA MINA SAN JORGE .....	66

FIGURA 48. UBICACIÓN DEL PRIMER Y SEGUNDO VENTILADOR EN LA GALERÍA DE LA MINA SAN JORGE .....	67
FIGURA 49. UBICACIÓN DEL SEGUNDO Y TERCER VENTILADOR EN LA GALERÍA DE LA MINA SAN JORGE .....	67
FIGURA 50. PRESENCIA DE ZONA DE PUNTALES LUEGO DEL PUNTO TOPOGRÁFICO “J31” .....	68
FIGURA 51. RESULTADO DE LOS CAUDALES ANTES Y DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN .....	68
FIGURA 52. RESULTADO DEL ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN .....	69
FIGURA 53. CÁLCULOS ESPECÍFICOS DEL VAN .....	70
FIGURA 54. CÁLCULOS ESPECÍFICOS DEL TIR .....	71
FIGURA 55. PLAZO DE RECUPERACION .....	72



## INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. LEY DE ATKINSON.....	13
ECUACIÓN 2. ÁREA DE LA GALERÍA.....	14
ECUACIÓN 3. ÁREA DE LA PARTE RECTANGULAR GRAFICADA ALREDEDOR DE LA CIRCUNFERENCIA. 14	
ECUACIÓN 4. ÁREA DE LA PARTE CIRCUNFERENCIAL DENTRO DEL RECTÁNGULO GRAFICADO ALREDEDOR DE ESTE.....	15
ECUACIÓN 5. ÁREA DE LA PARTE SOBRANTE ENTRE EL RECTÁNGULO GRAFICADO ALREDEDOR DE LA CIRCUNFERENCIA. ....	15
ECUACIÓN 6. ÁREA DEL RECTÁNGULO .....	15
ECUACIÓN 7. PERÍMETRO TOTAL DE LA GALERÍA.....	16
ECUACIÓN 8. TEOREMA DE PITÁGORAS.....	16
ECUACIÓN 9. PERÍMETRO DEL CÍRCULO .....	17
ECUACIÓN 10. FÓRMULA PARA HALLAR EL CAUDAL TOTAL. ....	17
ECUACIÓN 11. CAUDAL DEL AIRE DE ACUERDO AL NÚMERO DE PERSONAS .....	18
ECUACIÓN 12. CAUDAL DEL AIRE DE ACUERDO AL CONSUMO DE EXPLOSIVOS.....	19
ECUACIÓN 13. FÓRMULA DE LA DENSIDAD DEL AIRE.....	19
ECUACIÓN 14. CONVERSIÓN DE LB/PIE <sup>3</sup> A KG/M <sup>3</sup> .....	20
ECUACIÓN 15. FÓRMULA DE LA PRESIÓN BAROMÉTRICA O ATMOSFÉRICA.....	20
ECUACIÓN 16. CONVERSIÓN DE MBAR A IN HG .....	20
ECUACIÓN 17. CAUDAL DEL AIRE POR VENTILACIÓN NATURAL.....	24

## RESUMEN

La presente investigación se enfocó en diseñar un sistema de ventilación en el nivel 2735 mediante la ley de Atkinson en la mina San Jorge - Sayapullo – La Libertad sin afectar a la rentabilidad de dicha mina. Para ello, se evaluó las características de dicha mina subterránea artesanal con el fin de obtener la data necesaria para la aplicación de la ley de Atkinson. De acuerdo a los datos obtenidos se determinó el tipo de ventilador a instalar, la cantidad necesaria de estos y su ubicación estratégica de cada uno de ellos para el abastecimiento de aire, la eliminación del polvo y la dilución de los gases tóxicos. Dichos datos calculados fueron el área promedio de la galería, el perímetro promedio de la galería, la longitud a la que se colocará cada ventilador en los puntos estratégicos, el caudal total de aire, la densidad del aire y el coeficiente de fricción en una galería. Ya definido cada valor para el diseño del sistema de ventilación se procedió a realizar un análisis económico mediante las utilidades obtenidas de la mina San Jorge en el año 2020 con la finalidad de determinar la viabilidad de este sistema de ventilación.

**Palabras clave:** Sistema de ventilación, caudal, presión, ventilación, Atkison

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Tener una correcta ventilación en una mina subterránea dentro de sus operaciones es un proceso esencial para que la atmosfera dentro de ella sea respirable y segura con el fin de beneficiar a los trabajadores para un desarrollo óptimo de sus funciones operativas. Su importancia de acuerdo a expertos y académicos se debe principalmente a la salud de los trabajadores y a su productividad, ya que sin un sistema de ventilación no es posible que se desarrolle una correcta actividad minera subterránea debido a que en el interior de la mina se desprenden gases y polvos por la utilización de maquinaria y equipos para la explotación del mineral. Los gases que se pueden encontrar son: asfixiantes, tóxicos y/o explosivos, es por ello que es necesario diluirlos por debajo de los límites legales del D.S. 024-2016-EM modificado por D.S. N° 023-2017-EM. Además, a medida que se aumenta la profundidad de la mina también lo haría la temperatura de acuerdo al grado térmico (Quispe, 2019).

Antiguamente la minería se desarrollaba cerca de la superficie ya que había mayor disponibilidad de luz y ventilación natural a diferencia de las minas subterráneas. Para poder introducir aire fresco dentro de la mina eran necesarias las fogatas. Además, para el funcionamiento de las primeras minas en la historia fue necesario que sean diseñadas con entradas duales; es decir, que, en una entrada, el aire que provenía del exterior pueda fluir al interior y que en la otra se expulsara el aire viciado. Además de ello, algunas tuvieron que ser asistidas mediante hornos subterráneos, para ello se utilizó el principio práctico de la corriente de aire hacia arriba derivada de un fuego donde se originaba una succión del aire dentro de la mina, este aire era sustituido por el aire del exterior. Este método es efectivo pero peligroso ya que debido que en el interior de la mina se acumulan gases tóxicos. (Guillén, 2016).

Es de gran importancia evaluar los controles de ventilación ya que esto definirá las áreas con deficiencias dentro del laboreo de la mina y por ende dar una mejor propuesta. Mediante un análisis correcto en la ventilación es que se puede determinar la presencia de gases nocivos,

la implementación de una correcta circulación de aire, del flujo y también de conocer el tipo de humedad. Todo ello de acuerdo a los reglamentos y las normas de la mina y que estén establecidas principalmente para trabajados en mina. (García, 2016).

En una mina subterránea es necesario que haya diferencia de presión entre dos puntos para que pueda haber flujo de aire, además mientras mayor sea la diferencia de la presión entre estos dos puntos será mayor la cantidad de flujo de aire que podrá haber dentro de la mina Subterránea (Llano,2017).

Mediante Atkinson se puede determinar el diámetro del ducto a implementar en un sistema de ventilación, además de conocer la distancia del flujo de aire que tendrá un ventilador (Sánchez, 2004).

Algunas empresas mineras en el Perú poseen galerías subterráneas que no cuentan con un correcto sistema de ventilación, es por ello que existen deficiencias en la ventilación y por consecuente un ambiente inseguro. Debido a ello es que no se desarrollan correctamente las operaciones de exploración, preparación y explotación (Castrejón & Rodríguez, 2019).

Al realizar una evaluación económica se puede determinar de manera cuantitativa que tan rentable puede ser un proyecto, teniendo en cuenta criterios matemáticos financieros tales como el VAN y el TIR. Adicional a ello, una evaluación económica permite comparar los flujos de ingresos y gastos que posee el proyecto. Todo relacionado a los precios y los costos del mercado en su actualidad (Naupari,1986).

Si el proyecto de inversión obtiene un VAN positivo indica que dicho proyecto es viable tanto económica como financiera (Gonzáles & Jáuregui, 2018).

Al realizar un análisis económico a un proyecto de inversión se puede determinar su viabilidad si los valores de VAN y TIR son positivos (Chuquilín & Intor, 2018).

En Atkinson se tiene en cuenta que cuando uno de los conductos de aire cuenta con una pequeña área y luego otra grande y sobre todo si es que los factores suelen ser constantes, la

circulación de aire tendrá mayor facilidad mediante un segundo ducto de ventilación que posea la mina (Condori, 2016).

Teniendo en cuenta dichos antecedentes es que se desarrolló la siguiente investigación. Para lograr determinar un sistema de ventilación en el nivel 2735 mediante Atkinson en la mina San Jorge - Sayapullo – La Libertad fue necesario los siguientes datos y fórmulas:

### **Ley de Atkinson:**

La ley Atkinson o ecuación de Atkinson se utiliza para calcular la pérdida de presión necesaria con la finalidad de mover el aire a través de un ducto o mediante una galería.

Cuando el aire fluye a través de una galería minera o de un ducto, la presión que se requiere para trasladar el aire a través de estos depende de la fricción interna (galería minera), la longitud a la que se colocará un ventilador, el perímetro de la galería minera, el área de la galería minera, el caudal del aire y la densidad del aire.

$$p = \frac{KCLQ^2}{A^3} \times \frac{w}{1,2}$$

**Ecuación 1.** Ley de Atkinson

p = Pérdida de presión (Pa)

C = Perímetro (m)

K = Factor de fricción (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

L = Longitud (m)

w = Densidad del aire (Kg / m<sup>3</sup>) A = Área (m<sup>2</sup>)

Q = Flujo de cantidad (m<sup>3</sup>/s)

Fuente: Guía metodológica de seguridad para proyectos de ventilación de minas.

Para una visión clara de acuerdo a los conceptos que serán utilizados para calcular la pérdida de presión, es necesario saber ciertas definiciones, las cuales son:

### **Área:**

En este caso, el área a utilizar será el área promedio de la galería. Esta área promedio será calculado mediante la suma del área circunferencial y el área del rectángulo ya que la galería posee dichas dos figuras unidas. El área de la galería será representada mediante la

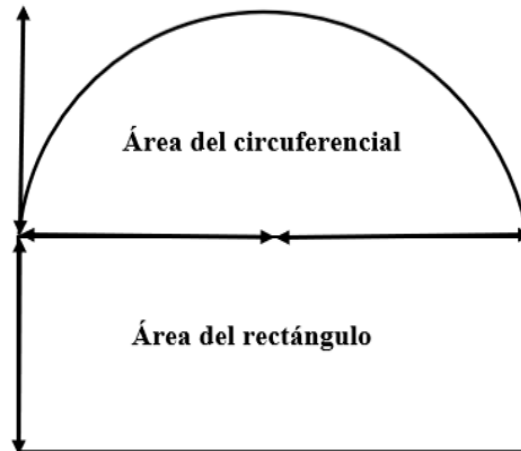
siguiente fórmula:

$$\text{Área de la galería} = \text{Área circunferencial} + \text{Área del rectángulo}$$

**Ecuación 2.** Área de la galería

**Figura 1.**

Representación gráfica de las áreas de la galería



Fuente: Cámara Latinoamericana de SST Latam

### Área circunferencial:

Para el cálculo del área circunferencial, estará representada mediante las siguientes fórmulas:

Para el cálculo del área circunferencial fue necesario graficar un rectángulo encima de ella, esto con el fin de poder calcular el área de la figura del rectángulo. Una vez calculada el área de dicha figura se le restará a la suma de las dos áreas que sobran del espacio entre la figura del rectángulo con la circunferencial, todo ello con la finalidad de hallar el área de la parte circunferencial.

$$\text{Área total} = B \times H$$

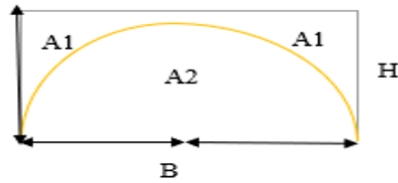
**Ecuación 3.** Área de la parte rectangular graficada alrededor de la circunferencia

Donde:

B = Base

H = Altura

**Figura 2.**  
*Parte circunferencial de la galería*



Fuente: Cámara Latinoamericana de SST LatamSST

El área de la parte circunferencial dentro del rectángulo graficado alrededor de este será calculada por la siguiente fórmula:

$$A2 = \text{Área total} - 2(A1)$$

**Ecuación 4.** *Área de la parte circunferencial dentro del rectángulo graficado alrededor de este.*

Por último, se calculará la otra área de la parte sobrante entre el rectángulo graficado alrededor de la circunferencia. En este caso hay dos y será calculado mediante la siguiente fórmula:

$$A1 = (B \times H) / 3$$

**Ecuación 5.** *Área de la parte sobrante entre el rectángulo graficado alrededor de la circunferencia.*

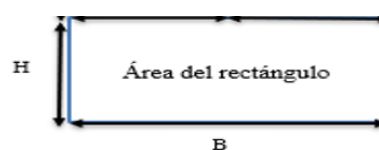
### Área del rectángulo:

Para el cálculo del área del rectángulo de la galería estará representada mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Área Total: } B \times H$$

**Ecuación 6.** *Área del rectángulo rectángulo*

**Figura 3.**  
*Parte del rectángulo de la galería*



Fuente: Cámara Latinoamericana de SST LatamSST

### Perímetro:

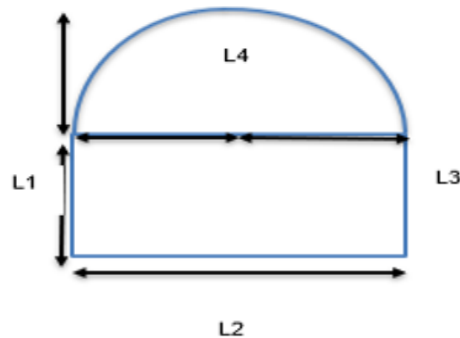
En este caso, el perímetro a utilizar será el perímetro promedio de la galería. Este perímetro será el tamaño total de la galería.

$$\text{Perímetro} = L1 + L2 + L3 + L4$$

**Ecuación 7.** *Perímetro total de la galería*

#### Figura 4.

*Representación gráfica de los lados de la galería para el cálculo del perímetro total de este*



Fuente: Cámara Latinoamericana de SST LatamSST

Dentro del cálculo del perímetro promedio, es necesario el uso de tres fórmulas adicionales:

### Teorema de Pitágoras:

Este teorema establece que, en el triángulo rectángulo, su hipotenusa debe ser igual a la raíz cuadrada de la suma del área de los cuadrados de sus catetos.

$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

**Ecuación 8.** *Teorema de Pitágoras*

### Perímetro del círculo:

El perímetro del círculo es calculado al multiplicar 2 veces pi por el radio. En este caso el radio estará representado por la letra “X”.



$$PC = 2(\pi)(X)$$

**Ecuación 9.**  
*Perímetro del círculo*

### **Cálculo del ángulo de un triángulo:**

Para el desarrollo de este cálculo, existen tres maneras de hallar el ángulo de un triángulo rectángulo siempre y cuando se tenga 2 medidas conocidas de sus tres lados, teniendo en cuenta que aplica en ángulos rectángulos. Los cuales son: SIN-1, COS-1 y TAN-1 y que son representadas de la siguiente forma:

**Figura 5.**

*Las tres fórmulas para hallar el ángulo de un triángulo rectángulo*

$$\text{SIN}^{-1} \frac{\text{CO}}{\text{HIP}} = (^\circ)\text{Grados}$$

$$\text{COS}^{-1} \frac{\text{CA}}{\text{HIP}} = (^\circ)\text{Grados}$$

$$\text{TAN}^{-1} \frac{\text{CO}}{\text{CA}} = (^\circ)\text{Grados}$$

Fuente: Asoldar.com

### **Caudal del aire:**

Es la cantidad de aire que fluye por una galería. El caudal del aire estará representado mediante la siguiente fórmula.

$$QT = Q1 + Q2 + Q3$$

**Ecuación 10.** *Fórmula para hallar el caudal total.*

Donde:

QT = Caudal total.

Q1 = Caudal del aire necesario para los trabajadores (m<sup>3</sup>/min)

Q2 = Caudal del aire necesario para la cantidad total de equipos diesel en interior mina.

$Q_3$  = Caudal del aire para diluir los gases tóxicos ocasionados por los explosivos ( $m^3/min$ ).  $Q_3$  =  
Caudal del caudal de aire para equipos de combustión.

En esta investigación solo se utilizará el caudal del aire de acuerdo a la cantidad de trabajadores en interior mina y para la dilución de gases tóxicos debido a que no se emplean equipos diesel en la galería de la mina San Jorge.

### **Cantidad del aire necesario para los trabajadores( $Q_1$ ):**

Para calcular la cantidad del caudal de aire de acuerdo al número de personas se utilizará la siguiente fórmula.

$$Q_1 = q \times n$$

**Ecuación 11.**  
*Caudal del aire de  
acuerdo al número  
de personas*

Donde:

$Q_1$  = Cantidad de aire necesario para el personal ( $m^3/min$ )

$q$  = Cantidad de aire mínimo por persona ( $m^3/min$ ) (R.S.H.M)

$n$  = Número de personas presentes en la mina por guardia.

Fuente: Compañía peruana de uso minero ecológico y técnico

La cantidad de aire mínimo por persona, de acuerdo al reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería será de acuerdo a la altitud que se encuentre la mina sobre el nivel del mar.

Desde 1,500 a 3,000 msnm la cantidad de aire mínimo por persona aumentará en 40% por lo que será igual a 4  $m^3/min$ .

Desde 3000 a 4,000 msnm la cantidad mínimo de aire por persona aumentará en 70% por lo que será igual a 5  $m^3/min$

Ya pasado los 4,000 msnm la cantidad mínimo de aire por persona aumentará en 100% por lo que será igual a 6  $m^3/min$

Fuente: D.S 024-2016-EM modificado por D.S. N° 023-2017-EM

### **Cantidad del aire de acuerdo al consumo de explosivos (Q2):**

Para calcular la cantidad del caudal de aire de acuerdo al consumo de explosivos se utilizará la siguiente fórmula.

$$Q2 = V \times n \times A$$

**Ecuación 12.** Caudal  
del aire de acuerdo al  
consumo de explosivos.

Donde:

Q2 = Cantidad de aire para diluir contaminantes por explosivos (m<sup>3</sup>/min) V = Velocidad del  
aire 20m/min (Dinamita), 25m/min (AnFo)

n = Número de niveles de la mina en trabajo.

A = Área promedio de la sección de las galerías niveles en el trabajo (m<sup>2</sup>)

Fuente: Compañía peruana de uso minero ecológico y técnico

### **Densidad del aire:**

Se define como la cantidad de la masa de aire contenida en la unidad de volumen,  
también se expresa en: lb. /pie<sup>3</sup> o Kg. /m<sup>3</sup>

$$\delta = \frac{1.325 \times Pb}{460 + T}$$

**Ecuación 13.** Fórmula de  
la densidad del aire

Donde:

$\delta$  = densidad del aire (lb. /pie<sup>3</sup>)

Pb = presión barométrica (pulgadas de mercurio)

T = temperatura del aire (°F)

Fuente: DuctSIM – Manual del usuario

Una vez hallada la densidad del aire en lb. /pie<sup>3</sup> se procederá a convertirla en kg/m<sup>3</sup>  
para su utilización en la fórmula Atkinson. Para ello se usará la siguiente conversión:

$$1 \text{ lb. /pie}^3 = 16.0185 \text{ kg/m}^3$$

**Ecuación 14.** *Conversión de lb/pie<sup>3</sup> a kg/m<sup>3</sup>*

Para el cálculo de la densidad del aire fue necesario la aplicación de 2 fórmulas adicionales, las cuales son:

### Temperatura del aire:

Se define como la magnitud referida al calor mediante un termómetro. Para medir esta magnitud de una escala a otra se utilizará las siguientes fórmulas:

**Figura 6.**

*Fórmulas de las cuatro escalas vigentes de la temperatura.*

$$\frac{^{\circ}C}{5} = \frac{^{\circ}F - 32}{9} = \frac{R - 491.67}{9} = \frac{K - 273.15}{5}$$

Fuente: Khan Academy

### Presión barométrica o atmosférica:

La presión barométrica o atmosférica es aquella que se mide en un punto cualquiera que esté sobre el nivel del mar. En este caso la mina San Jorge se encuentra a una altitud de 2700 msnm.

La ecuación a utilizar estará proporcionada a la relación entre la presión atmosférica y la altitud de acuerdo a la Atmósfera Estándar Internacional (ISA). El valor real de la presión barométrica no solo varía mediante la altitud, sino también mediante la localización geográfica y las condiciones meteorológicas que posea. Además, si la altitud aumenta, la presión atmosférica disminuirá.

$$P(\text{mbar}) = 1013.25 \times (1 - 0.0000225577 \times H)^{5.2559}$$

**Ecuación 15.** *Fórmula de la presión barométrica o atmosférica*

Una vez hallada la presión atmosférica en mbar, se deberá convertir a inHg para su utilización en la fórmula Atkinson. La conversión será la siguiente:

$$1 \text{ mbar} = 0.02953 \text{ inHg}$$

**Ecuación 16.** *Conversión de mbar a in Hg*

### **Coefficiente de fricción:**

El coeficiente o factor de fricción de Atkinson viene a ser una función de la densidad del aire. Para esta investigación el coeficiente de fricción estará relacionada para minas metálicas y estandarizados para el nivel del mar, además será de acuerdo a la descripción del ducto, en este caso una galería.

**Tabla 1.**  
*Coefficiente de fricción para minas metálicas - Estandarizados para el nivel del mar.*

Descripción del ducto	Factor - K Kg./m <sup>3</sup>	Factor - K lb -min <sup>2</sup> / ft <sup>4</sup> * E-10
Galería	0.00879	47.4
Rampa	0.01158	62.4
Pique (áspero)	0.01126	60.7
Pique (lizo)	0.00466	25.1
Galería de banda	0.01399	75.4
Galería de TBM	0.00440	23.7

Fuente: Prosser & Wallace, 1998, 8th US Mine Ventilation Symposium

### **Plano interior mina:**

El plano del interior mina vendría a ser una representación gráfica de la superficie a determinar. Este plano muestra las características físicas principales del terreno. En una mina subterránea es aplicada en todos los procesos. Tales como: Prospección, exploración, construcción de accesos, investigación por sondeos, avances subterráneos y espacios de almacenamiento (Segura, 2012).

### **Ventilador Axial:**

Si el aire entra y sale a través del ventilador siguiendo una trayectoria paralela al eje de su hélice, se le considera axial. Estos ventiladores son apropiados cuando es necesario mover mucho caudal de aire con una relativa baja presión.

En esta investigación se está utilizando el ventilador axial debido a su gran capacidad de mover grandes cantidades de caudal de aire ya que se busca diseminar el polvo, diluir gases

tóxicos y para el abastecimiento de aire a los trabajadores en el interior mina.

**Figura 7.**  
*Ventilador axial*



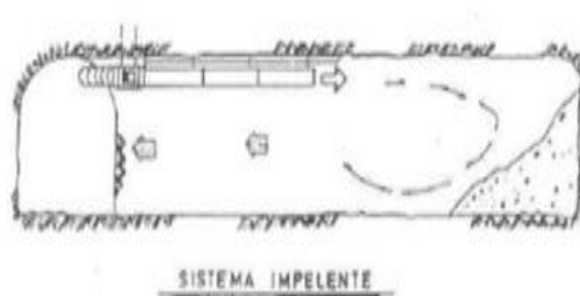
Fuente: Soler Palau

### **Ventilación impelente:**

Esta ventilación se caracteriza por proporcionar aire a través de mangas o tuberías hasta determinada distancia de trabajo. La ventilación es impulsada mediante ventiladores. El aire proporcionado por los ventiladores se mezcla con el aire contaminado y es expulsada al final de la galería logrando así diluir gases tóxicos y brindar aire fresco a los trabajadores.

Debido a que la ventilación impelente realiza un barrido y el aire viciado es expulsado por reflujo de la galería, lo hace ideal para avances horizontales.

**Figura 8.**  
*Ventilación impelente*



Fuente: Facultad de ingeniería – Universidad Andina del Cusco

En la zona de Sayapullo, se observó la falta de información y de criterios de ventilación, es por ello que debido a esta problemática se propondrá un diseño de ventilación en la galería de la mina San Jorge.

### **Manga de ventilación:**

La manga de ventilación se utiliza como un ducto con la finalidad de retirar el aire que ya se encuentra en mina por aire fresco, además de expulsar los gases tóxicos y el polvo de las diferentes galerías propias de la mina. También es usada esta manga de ventilación para insuflar aire (cuando la presión es positiva). Debido a su estructura mediante aros de metal o sintéticos es que lo hace un sistema resistente y liviano.

Entre sus características se tiene lo siguiente: Está confeccionado con un tejido poliéster de alta resistencia y recubierto en sus caras con PVC (material termoplástico), debido a esto es que tiene la capacidad de soportar las condiciones a la que se trabaja una mina subterránea, además de ser resistente a la descomposición. Algunas mangas de ventilación pueden ser resistentes también a la tensión y a los rasgados y sobre todo pueden ser llevados a un tratamiento auto extingüibles y ser antiestáticas.

Entre los tipos de manga de ventilación se tiene lo siguiente:

**Ducto redondo:** Este ducto es muy utilizado en los sistemas de ventilación, sobre todo cuando las presiones son positivas y el tipo de ventilación es impelente.

**Ducto redondo (tipo FSA):** Estos ductos se caracterizan por ser lisos a diferencia del anterior ducto mencionado, además de poseer anillos de acero.

**Ducto redondo con espirales:** Estos ductos son muy flexibles y de gran durabilidad, es muy común su utilización cuando se trata con presiones negativas.

**Figura 9.**  
*Manga de ventilación*



Fuente: Coberturas plásticas

### **Análisis económico:**

Se trata de utilizar fuentes de información con datos sobre el pasado y presente de un proyecto o de una empresa, esto con el fin de provisionar su futuro.

### **VAN:**

Es aquel indicador financiero que se encarga de medir los flujos de los futuros ingresos y egresos que un proyecto tendrá en el transcurso del tiempo, con la finalidad de que al descontar la inversión inicial se podrá observar alguna ganancia.

### **TIR:**

El TIR representa el retorno que va generar un proyecto o una inversión, permite visualizar que tan rentable llegaría a ser una inversión en un determinado tiempo.

### **Caudal del aire por ventilación natural en una galería minera:**

Es aquel caudal de aire que es exenta de ventiladores y de accesorios de ventilación ya que depende de la velocidad con la que ingresa el aire a una labor minera.

$$Q = A \times V$$

*Ecuación 17. Caudal  
del aire por ventilación  
natural*

Donde:

A = Área de la galería. (m<sup>2</sup>)

V = Velocidad de aire (m/s)

#### **1.1. Realidad problemática**

En la galería de la mina San Jorge se observó que la ventilación que utilizan es por medio natural sin embargo no es suficiente para el abastecimiento de aire a su personal de trabajo. Debido a ello se buscó la solución a dicha problemática mediante un diseño de un sistema de ventilación que pueda abastecer de aire suficiente a sus trabajadores. Ya definido



cada uno de los valores para el diseño de un sistema de ventilación en una galería minera donde el caudal del aire no abastece lo suficiente a sus trabajadores y a sus operaciones dentro de ellas se plantea la siguiente pregunta. ¿De qué manera se podría mejorar la ventilación natural en el nivel 2735 de la mina San Jorge – Sayapullo – La Libertad?

## **1.2. Objetivos**

### ***Objetivo general***

Ya que el caudal del aire no abastece lo suficiente a los trabajadores de la mina y a sus operaciones dentro de ella debido a la ventilación natural se plantea como objetivo general diseñar un sistema de ventilación bajo la ley de Atkinson en el nivel 2735 de la mina San Jorge - Sayapullo – La Libertad.

### ***Objetivos específicos***

El diseño de ventilación en la galería San Jorge se realizará mediante los siguientes objetivos específicos. Lo primero a realizar será analizar la problemática de la ventilación en la galería minera. Luego de ello, se tendrá que determinar los parámetros necesarios para el diseño del sistema de ventilación utilizando la Ley de Atkinson. Ya determinado dichos parámetros se procederá a utilizarlos para diseñar el sistema de ventilación. Una vez obtenido el diseño de ventilación se comparará la demanda de aire que se tenía al principio mediante la ventilación natural con la demanda de aire mediante el diseño del sistema de ventilación para evaluar si dicho sistema mejoraría el flujo de aire dentro de la galería minera. Finalmente realizará un análisis económico del sistema de ventilación utilizando los valores de VAN y TIR para determinar si el sistema de ventilación es rentable.

## **1.3. Hipótesis**

Al diseñar un sistema de ventilación podría mejorar las condiciones de la ventilación en el nivel 2735 de la mina San Jorge, aunque si dicho diseño está mal planteado podría empeorarlo.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

#### *Enfoque*

Esta investigación tiene como enfoque cuantitativo debido a que se recolecta datos mediante una medición numérica con la finalidad de responder los interrogantes planteados en la investigación.

#### *Diseño*

Para esta investigación el diseño a utilizar será de descriptivo simple con la finalidad de determinar si la ventilación dentro de la labor minera tendrá efectividad, para ello el diseño será el siguiente:

M → O

Donde:

M: Muestra del cual se realizó el estudio.

O: Información relevante recogida de la observación de la muestra.

#### *Tipo*

Esta investigación pertenece al tipo no experimental

### 2.2. Población y muestra

En esta investigación la población vendría a ser la galería de la mina San Jorge y la muestra sería representada por el nivel 2735.

### 2.3. Métodos, Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

#### *Métodos*

Esta investigación se utilizó el método inductivo y deductivo con la finalidad de sistematizar todo el marco teórico presentado en la investigación.

#### *Técnicas*

Para esta investigación la técnica para la recolección de información y análisis de datos

se desarrolló mediante la observación directa, teniendo en cuenta que dicha observación esté relacionada con cada variable investigada. Además de utilizar equipos medición para el cálculo de datos necesarios en las fórmulas empleadas.

### ***Instrumentos***

En esta investigación fue necesario utilizar como instrumentos para la recolección de datos el análisis documentario ya que se empleará fórmulas matemáticas y valores estándar ya definidas por una guía o manual. Además de ello, se utilizará la data recogida de campo con la finalidad de evaluar las características operacionales y darle solución a la problemática de acuerdo a dichas características

## **2.4. Procedimiento**

### ***Análisis de la problemática de la ventilación en la mina San Jorge.***

Al evaluar las condiciones operacionales de la mina artesanal subterránea San Jorge se encontró que tenían un problema fundamental ya que la ventilación que posee no abastece de aire suficiente a los trabajadores debido al poco caudal de aire que se ha registrado en el sistema de gestión en seguridad y salud en el trabajo para las medidas de ventilación de cada mes del año 2020 (Ver Anexo 11, 12,13,14). Dicha razón se debe a que no tienen instalado ventiladores axiales desde la bocamina hasta el punto topográfico “J56” con sus accesorios de ventilación y su respectiva manga de ventilación (Ver en Anexo 7, 8 y 10).

De acuerdo al registro de medidas de ventilación en la mina San Jorge del año 2020 se logra determinar la velocidad del aire y además el caudal del aire por ventilación natural desde la bocamina hasta el punto topográfico “J56”

$$Q (\text{bocamina} - \text{“J31”} - \text{“J56”}) = 19.09 \text{ m}^3/\text{min}$$

### ***Selección de la ley de Atkinson para el diseño de un sistema de ventilación***

Teniendo en cuenta que la problemática de la mina San Jorge proviene de la falta de caudal del aire, se procedió a encontrar la fórmula o ley que pudiera dar solución a ello y que

mediante dicha fórmula o ley pudiera lograr el diseño de un sistema de ventilación. Para ello, el ideal fue la ley de Atkinson ya que se va requerir mover el aire al interior de la galería de la mina San Jorge y que además los datos necesarios a utilizar en dicha fórmula o ley se pueden encontrar tanto en campo como en valores ya establecidos de acuerdo a las características operacionales de la mina San Jorge. Y que además mediante la ley de Atkinson se puede conocer la capacidad de los ventiladores axiales.

**Figura 10.**

*Análisis de la fórmula de Atkinson y la importancia de cada uno de sus variables para la implementación de un sistema de ventilación*

Ley de Atkinson		La ley de atkinson se utilizará para conocer cuanto será necesario de pérdida de presión para poder movilizar el aire a través de un ducto o de una galería minera (Andrade, 2008)
P	Pérdida de presión	Es aquella presión que se requiere en un sistema de ventilación para poder contrarrestar el efecto de fricción que ocurre en conductos (Soler & Palau, 2017).
C	Perímetro	El perímetro determinará la forma del conducto de ventilación por lo que calcularlo influirá significativamente para el diseño de un sistema de ventilación (Medina, 2016)
L	Área	El área determinará la forma que tendrá el ducto de ventilación por lo que calcularlo impacta significativamente en el diseño de un sistema de ventilación (Medina, 2016)
A	Longitud	La longitud tiene relación con la resistencia al flujo del aire por lo la distancia determinará la magnitud de la resistencia del flujo del aire (Medina, 2016)
K	Factor de fricción	Es un parámetro al considerar pérdida de energía por lo que lo hace ideal para estimar el diámetro del conducto de ventilación (Vélez, 2003)
w	Densidad del aire	La densidad del aire determinará que tan comprimida están las moléculas del aire en un determinado espacio. Es por ello que es fundamental calcularlo para un correcto diseño de ventilación puesto que depende de la altitud y de la temperatura a la que esté dicho espacio (CK foundation, 2020)
Pb	Presión barométrica	La presión barométrica es la que ocasiona la masa del aire por lo que tiene un papel fundamental en el diseño de un sistema de ventilación ya que está relacionado a la altitud (Mundocompresor, 2020)
T	Temperatura	Para un confort ambiental se considera que la temperatura no afecte negativamente. Además los sistemas de ventilación logran mantener de manera constante la temperatura de ambiente (Siber, 2020)
Q	Flujo de cantidad de aire	La ventilación en minas subterráneas depende de que el aire exterior pueda renovar o expulsar el aire contaminado con la finalidad de mejorar las condiciones de ambiente. Debido a ello es de gran importancia conocer la cantidad necesaria de caudal de aire requerido para que un sistema de ventilación sea eficiente (Soler & Palau, 2017)
Q1	Caudal del aire por # personas	El caudal del aire que circulará dentro de la galería minera dependerá de la cantidad de personas que laboran dentro de ella y a que altitud se encuentran. Estos valores son importantes a considerar en un sistema de ventilación (Positiva, 2017)
Q2	Caudal del aire por consumo explosivos	La circulación del aire depende mucho de cuanto caudal se requiere para eliminar las emanaciones tanto de gases naturales como de instrumentos de combustión. Por lo que son valores importantes para el diseño de un sistema de ventilación (Positiva, 2017)

Fuente: Propia

***Desarrollo de la Ley de Atkinson de acuerdo a los parámetros operacionales de la mina San Jorge para el diseño del sistema de ventilación.***

Debido al poco caudal de aire que existe dentro de la mina San Jorge se procedió a realizar un diseño de un sistema de ventilación en el nivel 2735 de la mina San Jorge mediante la fórmula de Atkinson ya que dentro de esta bocamina existen 5 contratas y estos también estarían sujetos a la misma problemática.

Para realizar un diseño de un sistema de ventilación en la mina San Jorge que se encuentra a 2735 msnm, se ha procedido a calcular cada una de las variables que posee la ley de Atkinson o ecuación de Atkinson ya que al conocer la pérdida de presión que existe dentro de dicha mina se podrá colocar el tipo de ventilador adecuado y la cantidad de estos necesarios dentro de la galería minera con la finalidad de abastecer de aire al personal de trabajo que labora dentro de la mina, de diluir los gases tóxicos y de eliminar el polvo.

Además, debido a los puntos estratégicos tomados para la ubicación de los ventiladores se ha procedido a realizar la ley de Atkinson dos veces ya que se realizará en dos tramos, tanto desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31” y del punto topográfico “J56”.

La ley de Atkinson está representada de la siguiente forma:

$$p = \frac{KCLQ^2}{A^3} \times \frac{w}{1,2}$$

Donde:

p = Pérdida de presión (Pa)

K = Factor de fricción (Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

C = Perímetro (m)

w = Densidad del aire (Kg / m<sup>3</sup>)

L = Longitud (m)

Q = Flujo de cantidad de aire (m<sup>3</sup>/s)

A = Área (m<sup>2</sup>)

Se realizó cálculos para encontrar cada variable necesaria para la utilización de la ecuación de Atkinson. Entre estas variables tenemos: El área promedio de la galería, el perímetro promedio de la galería, la longitud a la que se colocará cada ventilador de acuerdo a

los puntos estratégicos tomados, el caudal del aire, la densidad del aire y el factor de fricción de acuerdo a las características de la galería de la mina San Jorge.

Debido a que se trabajaran 2 puntos topográficos que están dentro del plano de la mina San Jorge (Ver anexo 1) es que se hallarán dos pérdidas de presión tanto para la bocamina hasta el punto topográfico “J31” y desde el punto topográfico “J31” al punto topográfico “J56”.

### **Cálculo de la ley de Atkinson desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31”.**

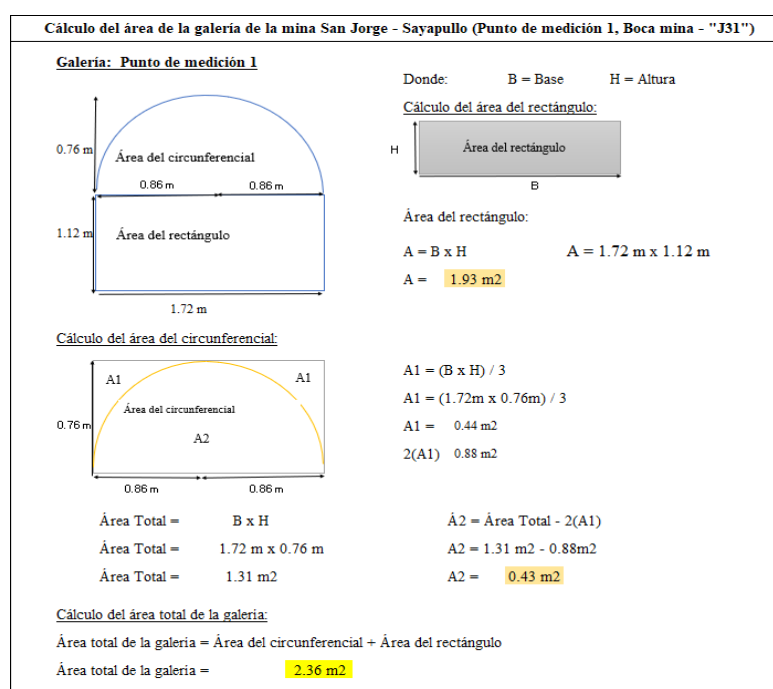
Lo primero a calcular será la ley de Atkinson desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31” ya que en la ubicación de la bocamina se colocará el primer ventilador y en el punto topográfico se colocará el segundo ventilador.

### ***Cálculo del área promedio desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31” de la galería de la mina San Jorge.***

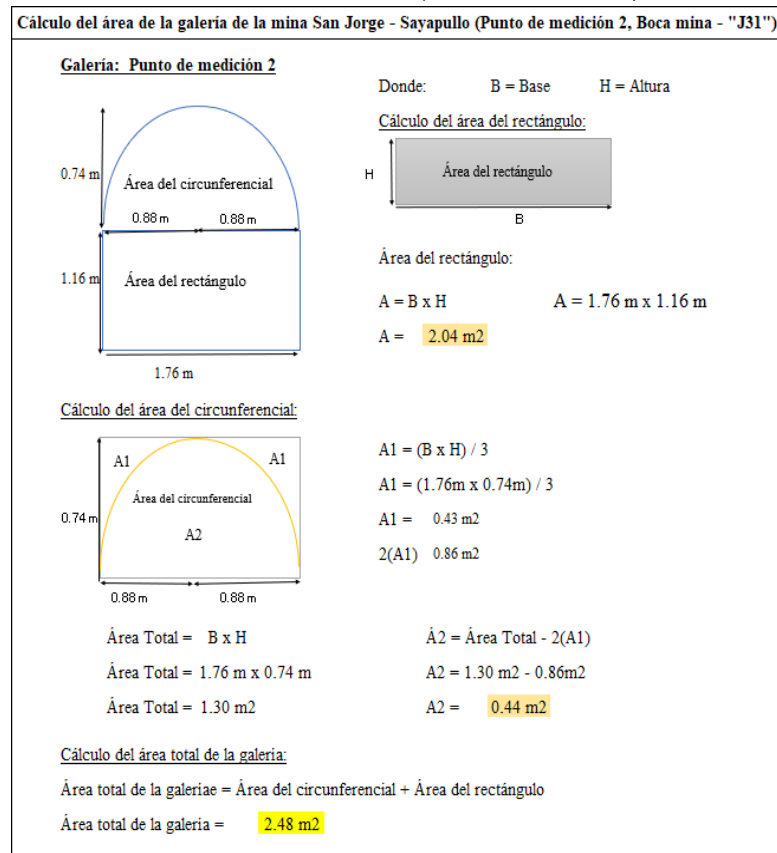
Para el área promedio se realizó se realizó una inspección in situ con el fin de obtener 7 puntos de mediciones de áreas de la galería ya que su tamaño no es la misma debido a la falta de información que poseen los trabajadores de la mina San Jorge al realizar la voladura. En las siguientes figuras se detallará el procedimiento para dicho cálculo.

**Figura 11.**

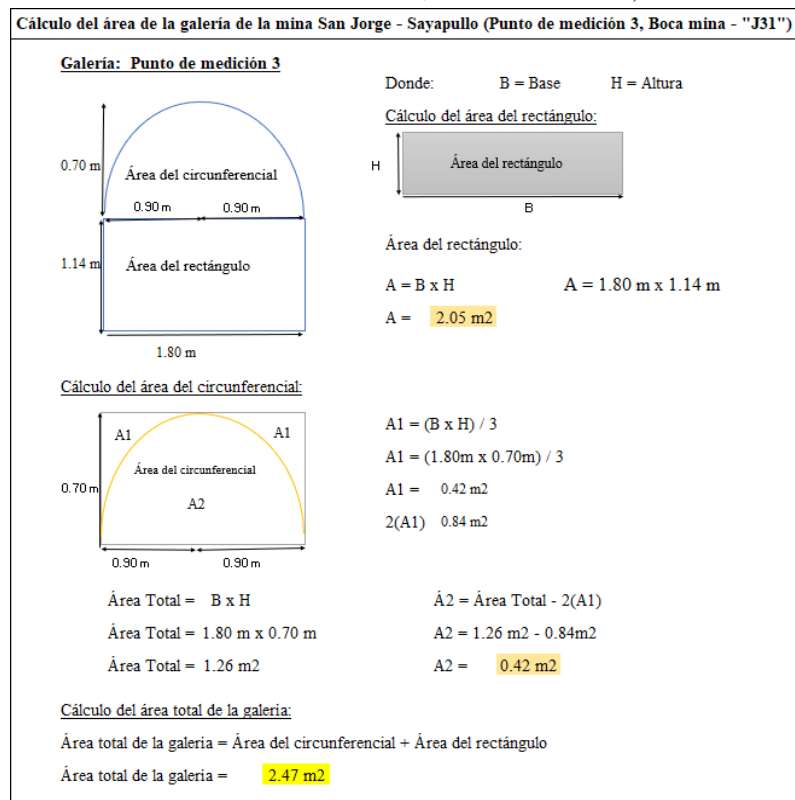
*Cálculo del área. Punto de medición 1, boca mina - "J31"*



**Figura 12.**  
*Cálculo del área. Punto de medición 2, boca mina - "J31"*

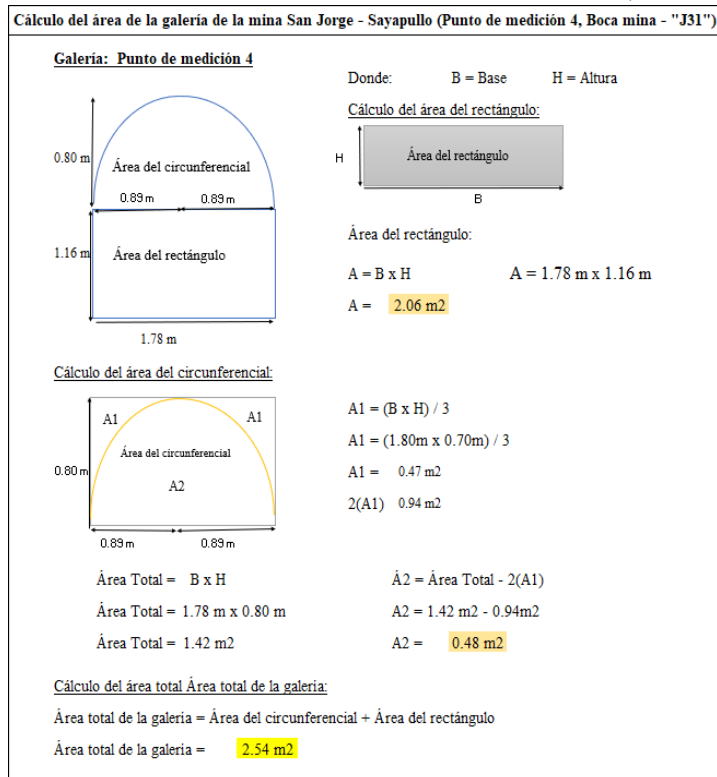


**Figura 13.**  
*Cálculo del área. Punto de medición 3, boca mina - "J31"*



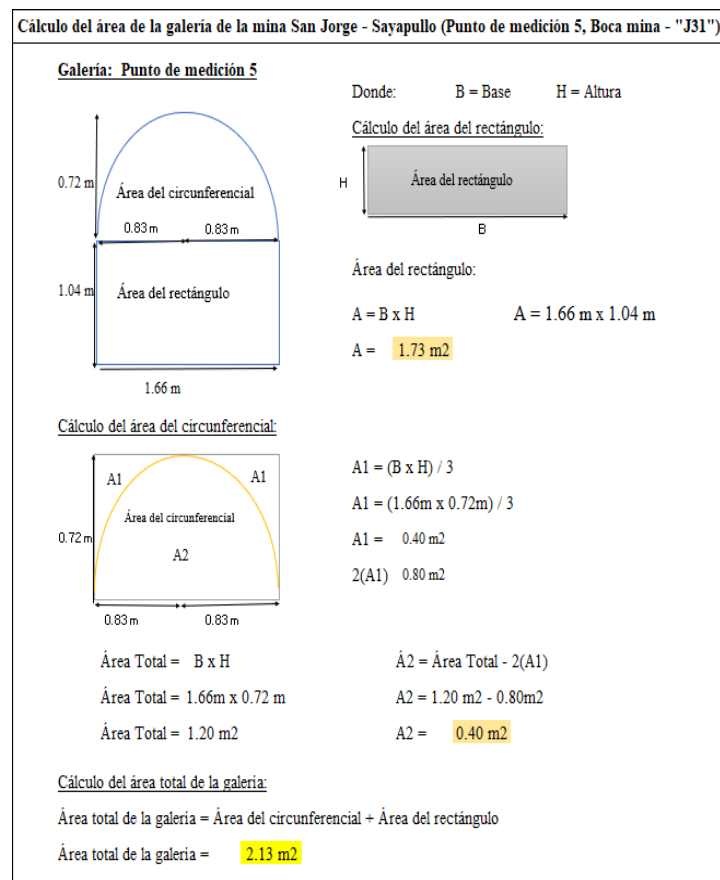
**Figura 14.**

*Cálculo del área. Punto de medición 4, boca mina - "J31"*



**Figura 15.**

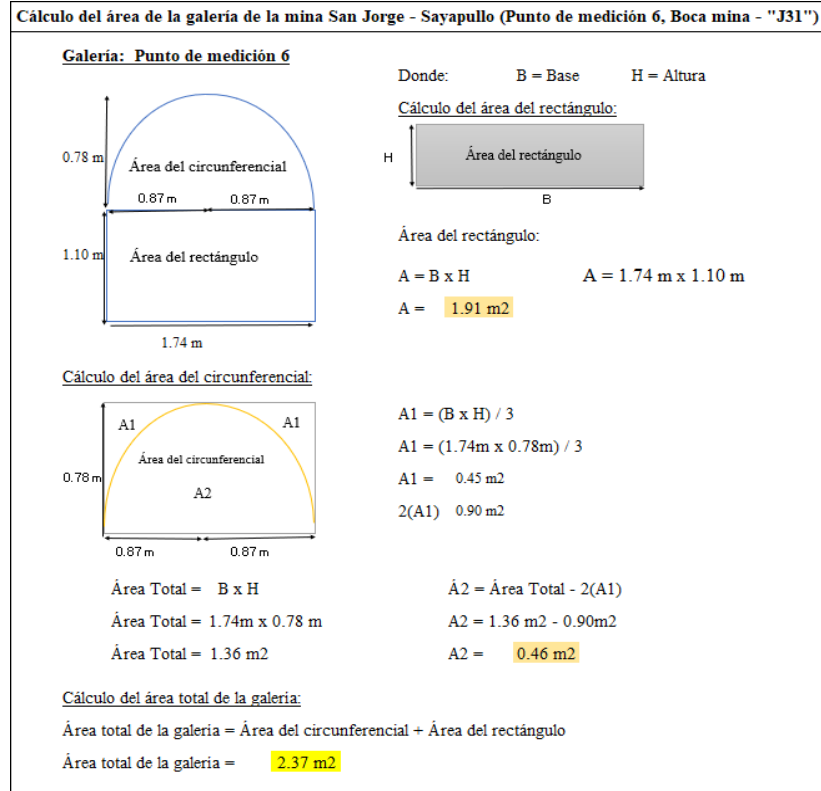
*Cálculo del área. Punto de medición 5, boca mina - "J31"*





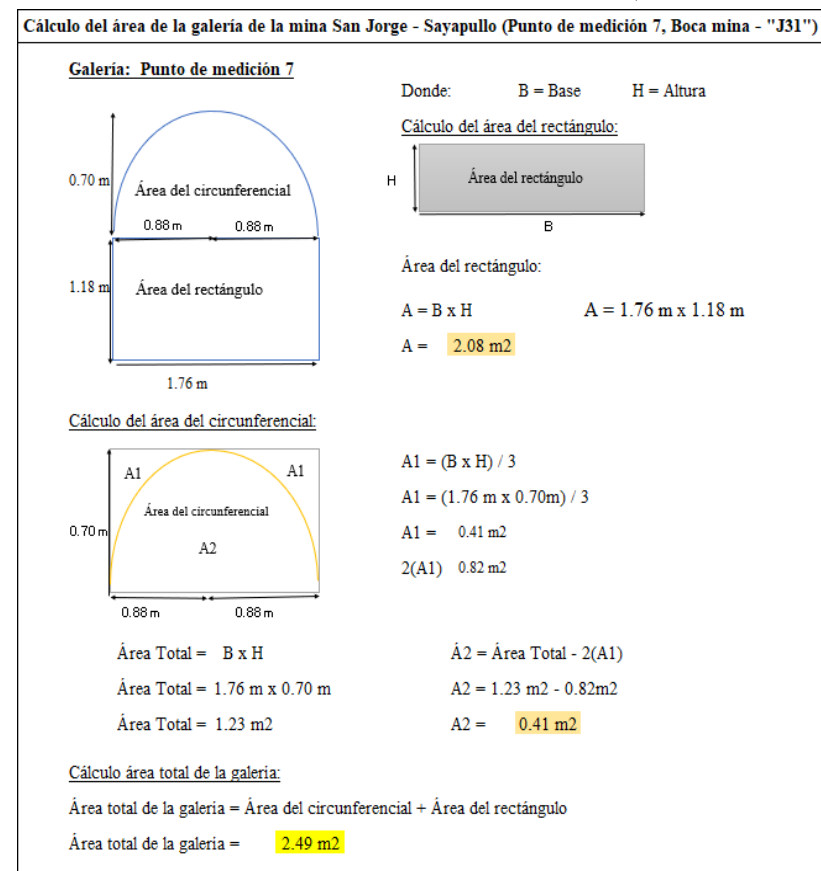
**Figura 16.**

*Cálculo del área. Punto de medición 6, boca mina - "J31"*



**Figura 17.**

*Cálculo del área. Punto de medición 7, boca mina - "J31"*



**Tabla 2.**

*Áreas tomadas de la galería desde la "bocamina" hasta el punto topográfico "J31"*

Puntos de mediciones del área de la galería (Boca mina - "J31")	
Punto de medición Área 1	2.36 m <sup>2</sup>
Punto de medición Área 2	2.48 m <sup>2</sup>
Punto de medición Área 3	2.47 m <sup>2</sup>
Punto de medición Área 4	2.54 m <sup>2</sup>
Punto de medición Área 5	2.13 m <sup>2</sup>
Punto de medición Área 6	2.37 m <sup>2</sup>
Punto de medición Área 7	2.49 m <sup>2</sup>

Fuente: Propia

Ya conociendo las 7 áreas de la galería de la mina San Jorge, se procede a calcular el área promedio entre estas para su utilización en la ley Atkinson o ecuación Atkinson. El desarrollo de cada una de estas áreas de la galería se encuentra en los anexos 1,2,3,4,5,6 y 7.

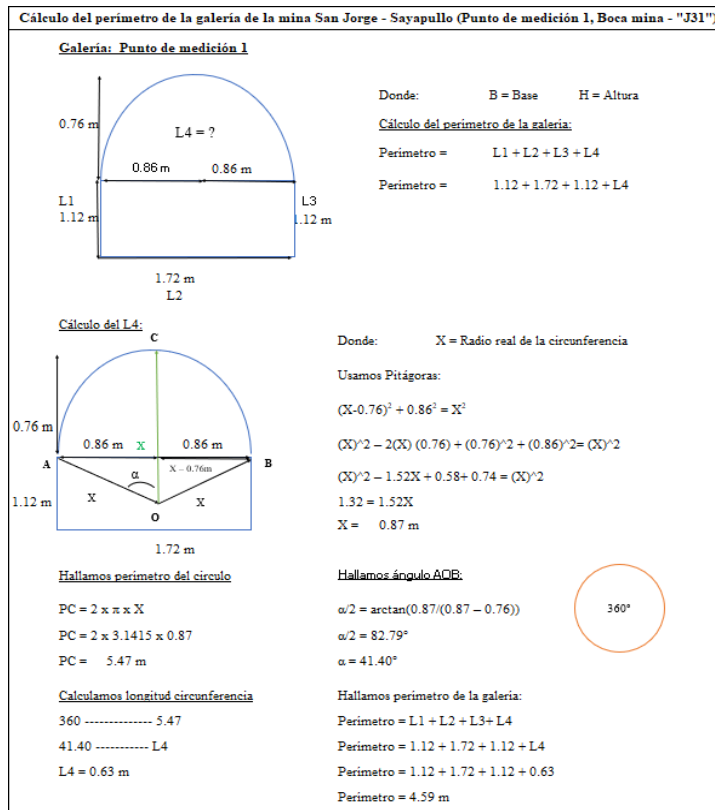
$$\text{Área promedio de la galería} = (2.36 \text{ m}^2 + 2.48 \text{ m}^2 + 2.47 \text{ m}^2 + 2.54 \text{ m}^2 + 2.13 \text{ m}^2 + 2.37 \text{ m}^2 + 2.49 \text{ m}^2) / 7$$

$$\text{Área promedio de la galería desde "Boca mina" hasta "J31"} = 2.41 \text{ m}^2.$$

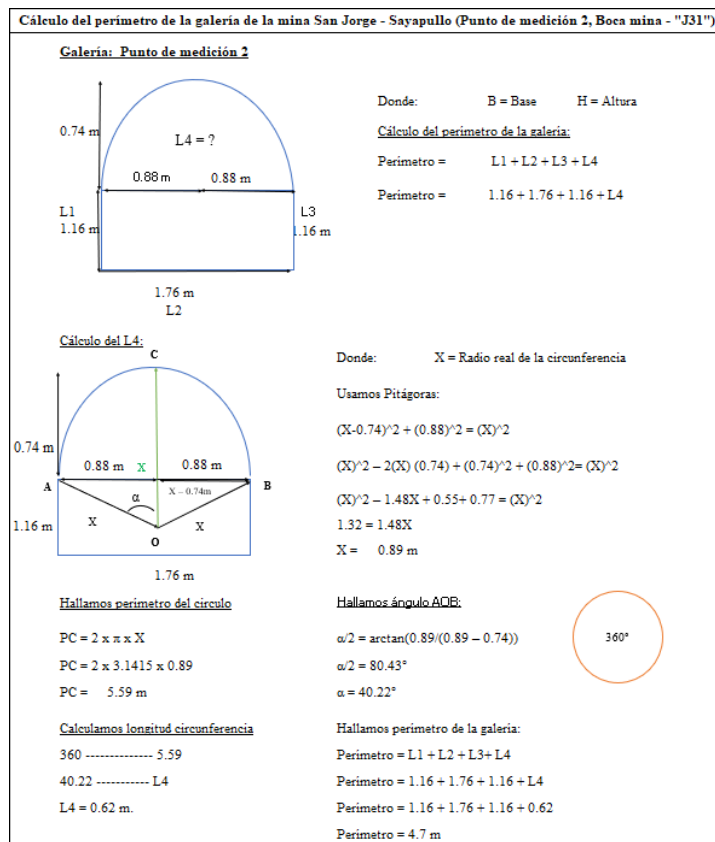
***Cálculo del perímetro promedio desde la bocamina hasta el punto topográfico "J31" de la galería de la mina San Jorge.***

Para el perímetro promedio se realizó también una inspección in situ con el fin de obtener 7 puntos de mediciones de perímetros de la galería ya que su tamaño no es la misma debido a la falta de información que poseen los trabajadores de la mina San Jorge al realizar la voladura. En las siguientes figuras se detallará el procedimiento para dicho cálculo.

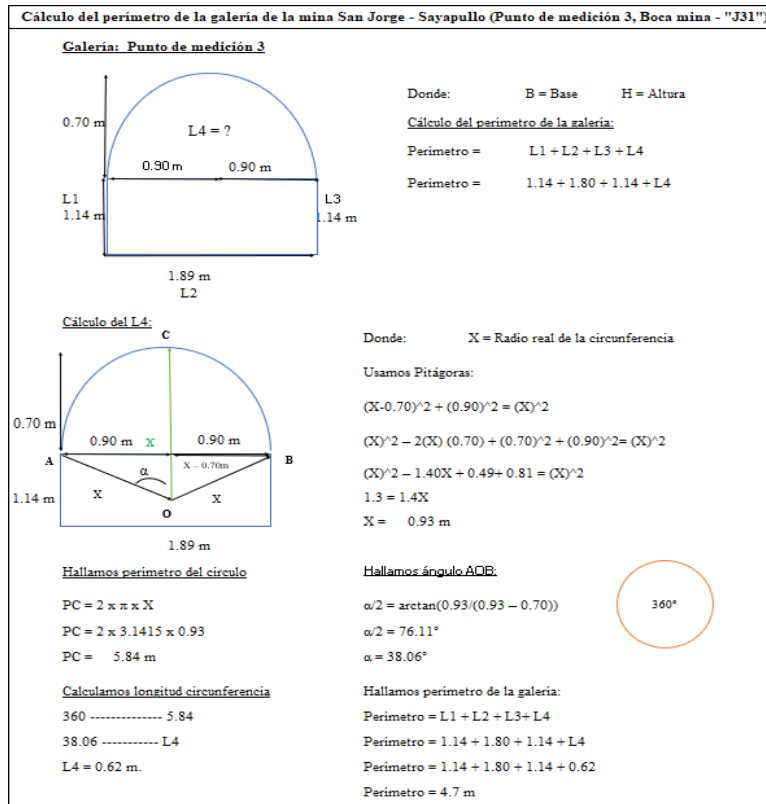
**Figura 18.**  
Cálculo del perímetro. Punto de medición 1, Boca mina - "J31"



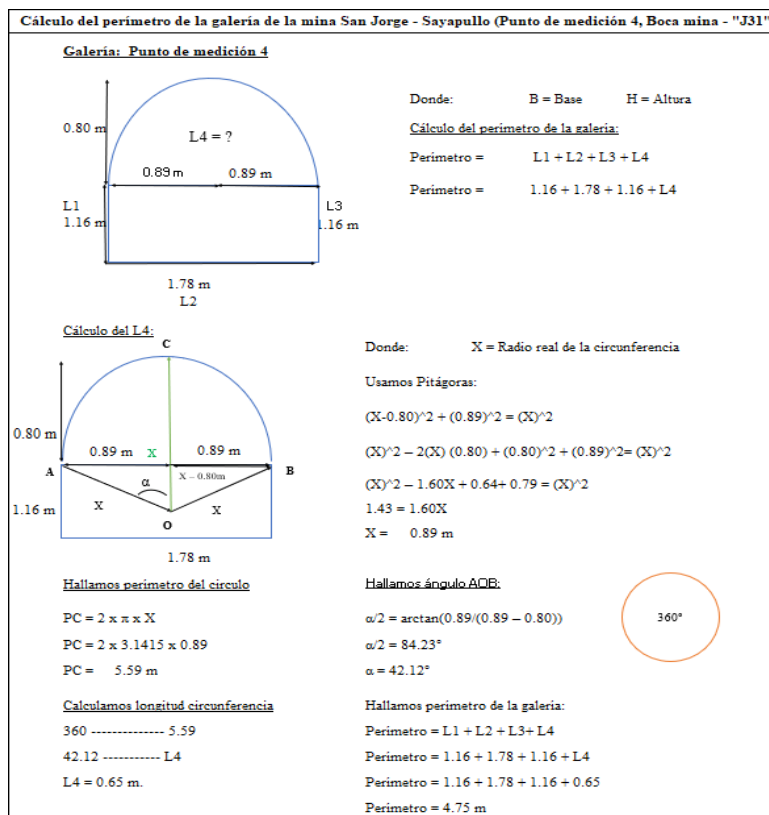
**Figura 19.**  
Cálculo del perímetro. Punto de medición 2, Boca mina - "J31"



**Figura 20.**  
Cálculo del perímetro. Punto de medición 3, Boca mina - "J31"

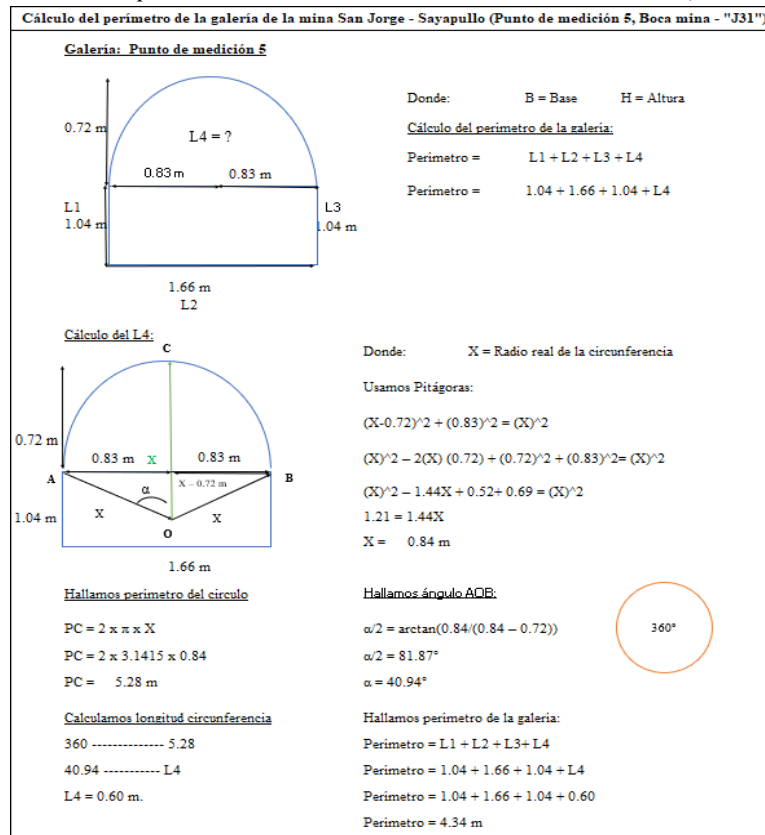


**Figura 21.**  
Cálculo del perímetro. Punto de medición 4, Boca mina - "J31"



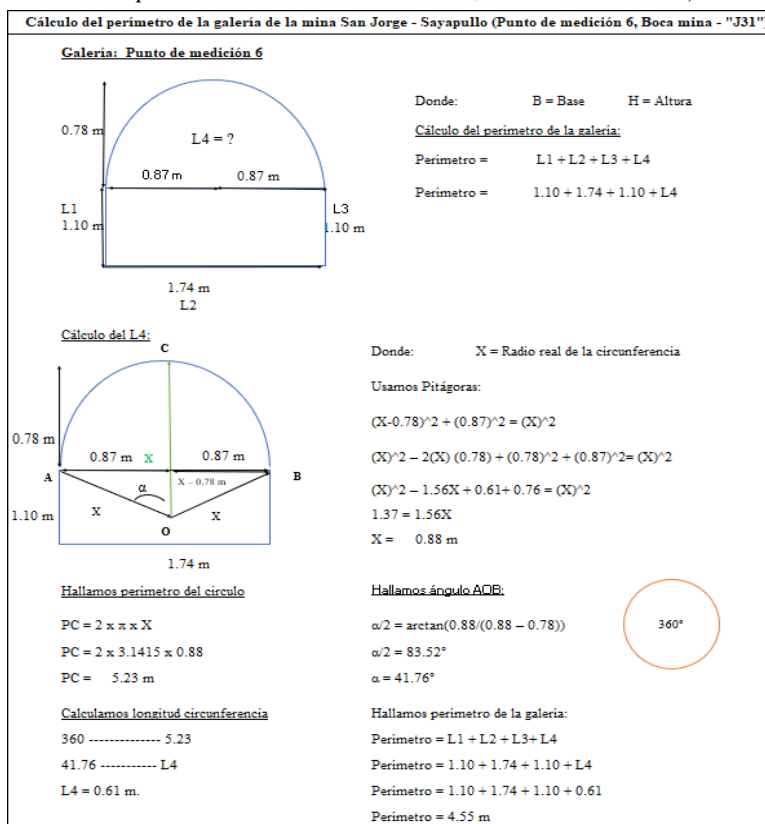
**Figura 22.**

*Cálculo del perímetro. Punto de medición 5, Boca mina - "J31"*

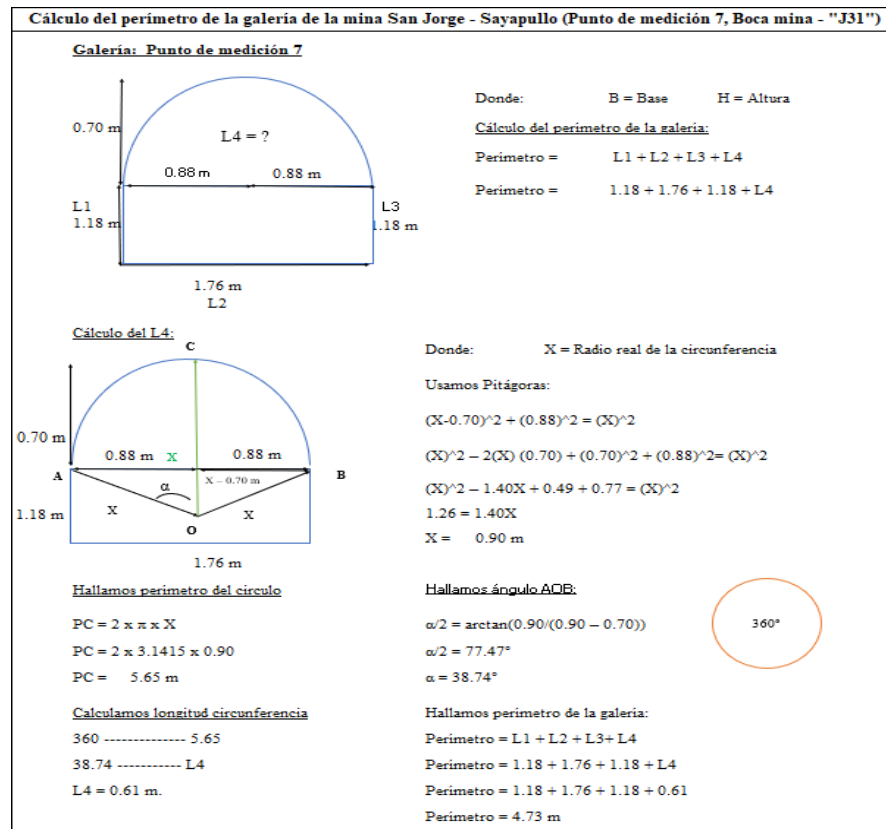


**Figura 23.**

*Cálculo del perímetro. Punto de medición 6, Boca mina - "J31"*



**Figura 24.**  
Cálculo del perímetro. Punto de medición 7, Boca mina - "J31"



**Tabla 3.**  
Perímetros tomados de la galería desde la "bocamina" hasta el punto topográfico "J31"

Puntos de mediciones del perímetro de la galería (Boca mina - "J31")	
Punto de medición Perímetro 1	4.59 m
Punto de medición Perímetro 2	4.70 m
Punto de medición Perímetro 3	4.70 m
Punto de medición Perímetro 4	4.75 m
Punto de medición Perímetro 5	4.34 m
Punto de medición Perímetro 6	4.55 m
Punto de medición Perímetro 7	4.73 m

Fuente: Propia

Ya conociendo los 7 perímetros de la galería al evaluar las características de la mina San Jorge, se procede a calcular el perímetro promedio entre estas para su utilización en la ley Atkinson o ecuación Atkinson.

$$\text{Perímetro promedio de la galería} = (4.59 \text{ m} + 4.7 \text{ m} + 4.7 \text{ m} + 4.75 \text{ m} + 4.34 \text{ m} + 4.55 \text{ m} + 4.73 \text{ m}) / 7$$

Perímetro promedio de la galería desde “Boca mina” hasta “J31” = 4.62m.

***Longitud desde la boca mina hasta el punto topográfico “J31”.***

La longitud de la galería a trabajar para determinar la primera presión será desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31”. Mediante el uso de una wincha, la distancia entre estos dos puntos es de 247.09 metros.

***Cálculo del caudal total del aire de la galería minera desde boca mina hasta “J31”***

Para poder calcular el caudal del aire dentro de la mina San Jorge, fue necesario hallarlo de acuerdo a las características operacionales de esta mina. En este caso, la ventilación solo va enfocada hacia los trabajadores y a la voladura. Finalmente, el caudal total que existe dentro de la mina San Jorge vendría a ser la suma entre el caudal de aire necesario de acuerdo al número de personas que ingresan a la mina y el caudal de aire de acuerdo al consumo de explosivos.

Para el cálculo del caudal del aire de acuerdo al número de personas se realizó mediante la siguiente fórmula y teniendo en cuenta las características de la galería de la mina San Jorge.

$$Q1 = q \times n$$

Q1 = Cantidad de aire necesario para el personal (m<sup>3</sup>/min)

q = Cantidad de aire mínimo por persona (m<sup>3</sup>/min) (R.S.H.M)

n = Número de personas presentes en la mina por guardia.

En este caso, la mina San Jorge se encuentra ubicada a 2735 msnm por lo que de acuerdo al DS 024-2016-EM modificado por D.S. N° 023-2017-EM, si desde 1,500 a 3,000 msnm la cantidad mínima de aire necesaria por persona tendrá un aumento del 40% por lo que sería 4 m<sup>3</sup>/min. Además, por contrata hay un total de 4 trabajadores por guardia que ingresan a la mina para trabajos de perforación y voladura por lo que en total habría 20 personas dentro de la mina por guardia.

Ya conociendo estos datos, se procede a calcular el caudal del aire necesario de

acuerdo al número de personas.

$$Q1 = 4 \text{ m}^3/\text{min} * 20$$

$$Q1 = 80 \text{ m}^3/\text{min}$$

Dando como resultado el primer caudal de aire de acuerdo a la cantidad de personas.

$$Q1 = 1.33 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para el cálculo del caudal del aire de acuerdo al consumo de explosivos se realizó mediante la siguiente fórmula y teniendo en cuenta las características de la galería de la mina San Jorge.

Fue necesario conocer con qué materiales realizaban la voladura puesto que influye en la velocidad del aire, en este caso la dinamita. También fue necesario saber el número de niveles de la galería, que para esta investigación vendría a ser 1 ya que la galería a trabajar se encuentra solo en el nivel 2735. Y, por último, el área promedio de la galería.

$$Q2 = V \times n \times A$$

$$Q2 = \text{Cantidad de aire para diluir contaminantes por explosivos (m}^3/\text{min)}$$

$$V = \text{Velocidad del aire 20m/min (Dinamita), 25m/min (AnFo)}$$

n = Número de niveles de la mina en trabajo.

$$A = \text{Área promedio de la sección de las galerías niveles en el trabajo (m}^2\text{)}$$

En esta mina, se realiza la voladura de una manera no muy adecuada por la falta de información, es por ello que, en cada avance el tamaño de la galería varía, además debido a esta práctica se genera pequeños piques en la galería.

Ya conociendo estos datos, se procede a calcular el caudal del aire necesario de acuerdo al consumo de explosivos.

$$Q2 = 20 \text{ m}^3/\text{min} * 1 * 2,41 \text{ m}^2$$

$$Q2 = 48.2 \text{ m}^3/\text{min}$$

Ya conociendo el valor de estos dos caudales de aire, se procedió a calcular el caudal



total necesario de aire en la mina San Jorge. Para ello, sumaremos el caudal del aire de acuerdo al número de personas y el caudal del aire de acuerdo al consumo de explosivos.

$$QT = Q1 + Q2$$

$$QT = 80 \text{ m}^3/\text{min} + 48.2 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$QT = 128.2 \text{ m}^3/\text{min}$$

Para su utilización en la ley de Atkinson también se procedió a convertirlo a m<sup>3</sup>/s, lo cual daría como resultado:

$$QT = 2.14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dado a este caudal de aire se procederá a escoger el tipo de ventilador que pueda abastecer de aire suficiente a la galería además de diluir los gases contaminantes producidos por la voladura y sobre todo que la cantidad de estos ventiladores sean de acuerdo a las distancias tomadas estratégicamente para el abastecimiento de aire al personal y para la dilución los gases tóxicos.

Para ello, se procedió a convertir el caudal total de m<sup>3</sup>/min a CFM, dando como resultado:

$$QT = 4527.34 \text{ CFM}$$

### ***Cálculo de la densidad del aire de la galería minera***

Para el cálculo de la densidad del aire, también fue necesario conocer las características de la mina San Jorge. La fórmula a utilizar para hallar la densidad del aire es la siguiente:

$$d = \frac{1,325 \times P_b}{460 + T}$$

Donde:

$\delta$  = densidad del aire (lb./pie<sup>3</sup>)

$P_b$  = presión barométrica (pulgadas de mercurio)

$T$  = temperatura del aire (°F)

Como lo indica en la fórmula de la densidad del aire, se necesita calcular la presión barométrica y conocer la temperatura del aire dentro de la mina San Jorge.

Para calcular la presión barométrica o atmosférica se debe tener en cuenta a que altitud sobre el nivel del mar se encuentra la mina San Jorge. En este caso, la mina San Jorge se encuentra a 2735 msnm. Ya conociendo esta altitud, se procedió a reemplazarla en la fórmula de la presión barométrica:

$$P(\text{mbar}) = 1013.25 \times (1 - 0.0000225577 \times H)^{5.2559}$$

$$P(\text{mbar}) = 1013.25 \times (1 - 0.0000225577 \times 2735)^{5.2559}$$

$$P(\text{mbar}) = 725.03$$

Para su utilización en la ley de Atkinson se convirtió a inHg. Para ello, se procedió a convertirla de mbar a inHg. La conversión será la siguiente:

$$1 \text{ mbar} = 0.02953 \text{ inHg}$$

$$725.03 \text{ mbar} = 21.41 \text{ inHg}$$

Por lo tanto, la presión barométrica o atmosférica en la galería de la mina San Jorge es de 21.41 inHg.

Para el registro de la temperatura se utilizó una aplicación de medición de temperatura en el teléfono celular debido a que existen muchas restricciones en la mina por llevar objetos de medición.

La temperatura en la mina San Jorge es aproximadamente de 10°C. Por lo que, para su utilización en la fórmula de la densidad del aire, esta temperatura se deberá convertir a escala °F. Para ello, se utilizará la siguiente fórmula:

$$F = \frac{9C}{5} + 32$$

$$F = 50$$

Por lo tanto, la temperatura de la en la galería de la mina San Jorge es de 50 °F.

Ya conociendo la presión barométrica y la temperatura a escala °F, se procede a

reemplazarlos en la fórmula de la densidad del aire:

$$d = \frac{1,325 \times 21.41}{460 + 50}$$

$$d = 0.056 \text{ lb/pie}^3$$

Para la utilización de la ley de Atkinson o ecuación de Atkinson, la densidad del aire debe estar en kg/m<sup>3</sup>. Para ello, se procede a convertirla de lb/pie<sup>3</sup> a kg/m<sup>3</sup>. La conversión será la siguiente:

$$1 \text{ lb/pie}^3 = 16.0185 \text{ kg/m}^3$$

$$0.056 \text{ lb/pie}^3 = 0.90 \text{ kg/m}^3$$

### ***Cálculo del coeficiente de fricción***

El último valor a determinar fue el del coeficiente de fricción, para ello se procedió a tomar en cuenta las características de la mina San Jorge. Debido a que se desarrollará en una galería de una mina metálica, según Prosser & Wallace, 1998, 8th US Mine Ventilation Symposium el coeficiente de fricción será el siguiente:

$$\text{Coeficiente de fricción (Galería)} = 0.00879 \text{ kg/m}^3.$$

Ya calculado cada uno de los valores necesarios para el cálculo de la ley de Atkinson o ecuación de Atkinson desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31”, se procede a reemplazarlos en dicha ecuación.

$$p = \frac{KCLQ^2}{A^3} \times \frac{w}{1,2}$$

Datos:

Área promedio de la galería (A) = 2.41 m<sup>2</sup>.

Perímetro promedio de la galería (C) = 4.62 m.

Longitud a la que se colocara cada ventilador (L) = 247.09 m.

El caudal del aire en la mina San Jorge (Q) = 2.04 m<sup>3</sup>/s.

Densidad del aire en la mina San Jorge (w) = 0.90 kg/m<sup>3</sup>.

Coefficiente de fricción de acuerdo a las características de la mina San Jorge (K) = 0.0088

Kg/m<sup>3</sup>

$$p = \frac{KCLQ^2}{A^3} \times \frac{w}{1,2}$$

$$p = \frac{0.0088 \times 4.62 \times 247.09 \times 2.04^2}{2.41^3} \times \frac{0.9}{1.2}$$

$$p = 2.24 \text{ Pa}$$

Por lo tanto, la pérdida de presión encontrada en la mina San Jorge desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31” es de 2.24 Pa.

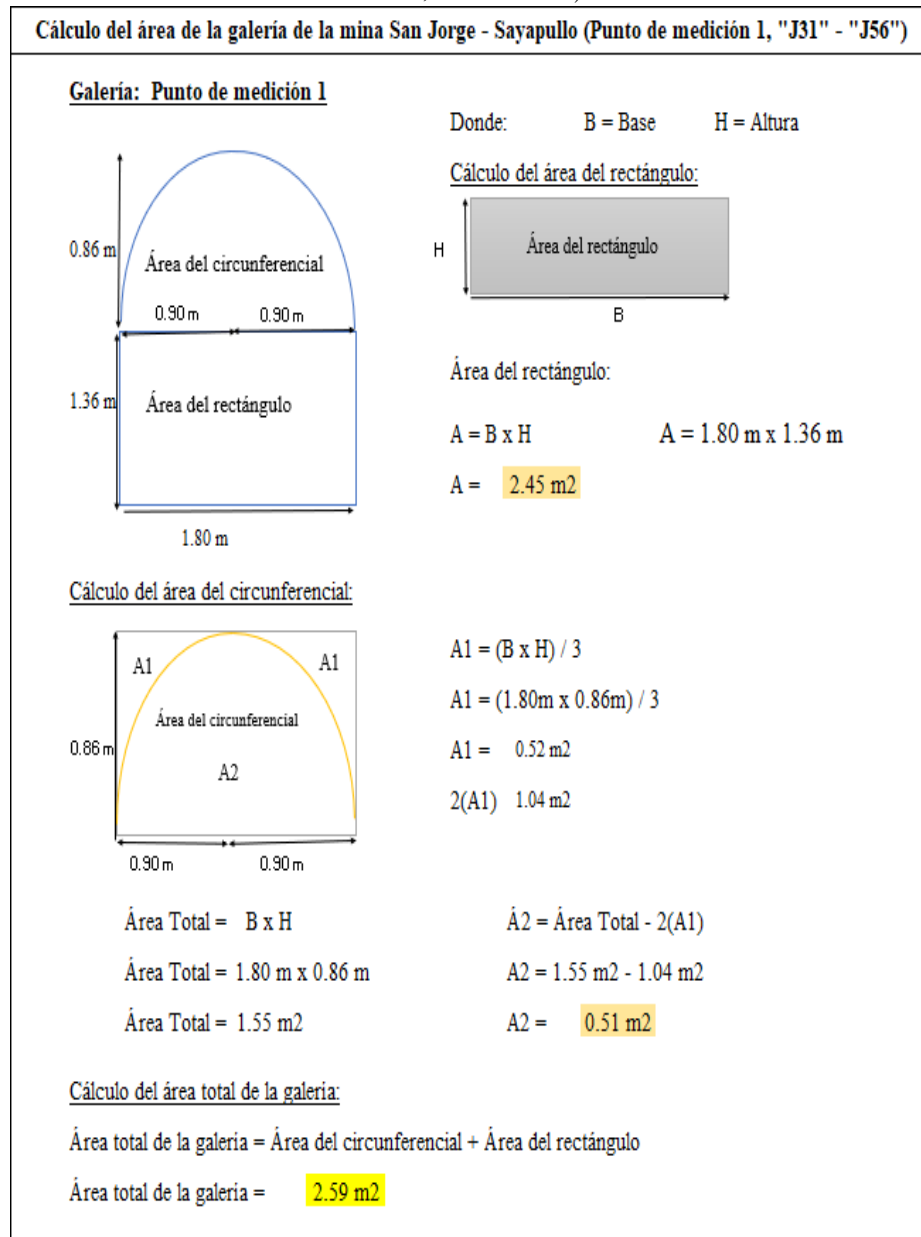
### **Cálculo de la ley de Atkinson desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56”**

Para el cálculo de la segunda presión se procedió a realizar el mismo procedimiento que fue necesario para encontrar la primera pérdida de presión. La diferencia es que hay tres valores distintos a calcular, los cuales serían: el área promedio de la galería, el perímetro promedio de la galería y la longitud a la que se colocará el tercer ventilador desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56”.

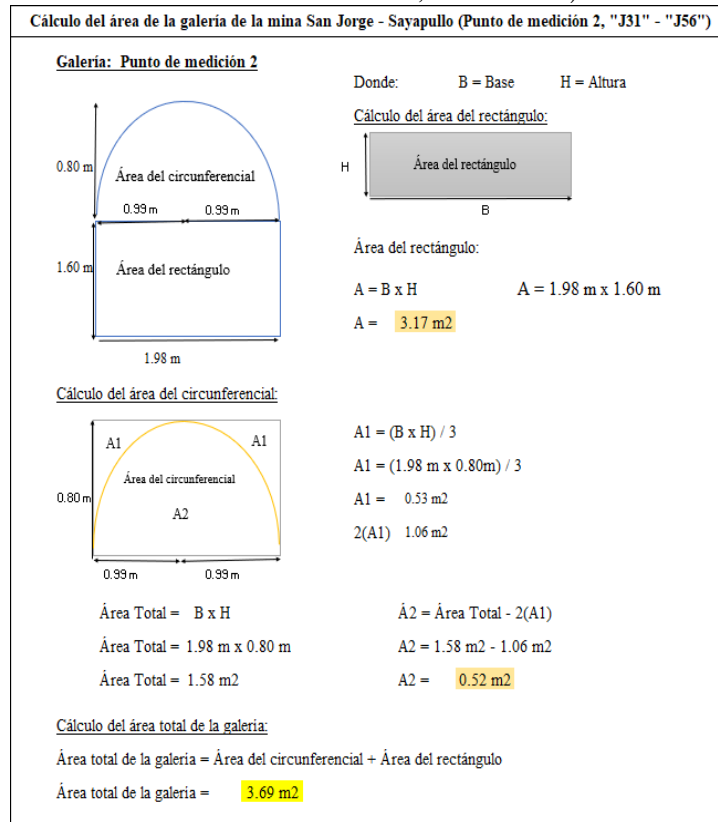
### ***Cálculo del área promedio desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56” de la galería de la mina San Jorge.***

Para el área promedio de igual forma se realizó una inspección in situ con el fin de obtener 7 puntos de mediciones de áreas de la galería desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56” ya que su tamaño no es la misma debido a la falta de información que poseen los trabajadores al realizar la voladura. En las siguientes figuras se detallará el procedimiento para dicho cálculo.

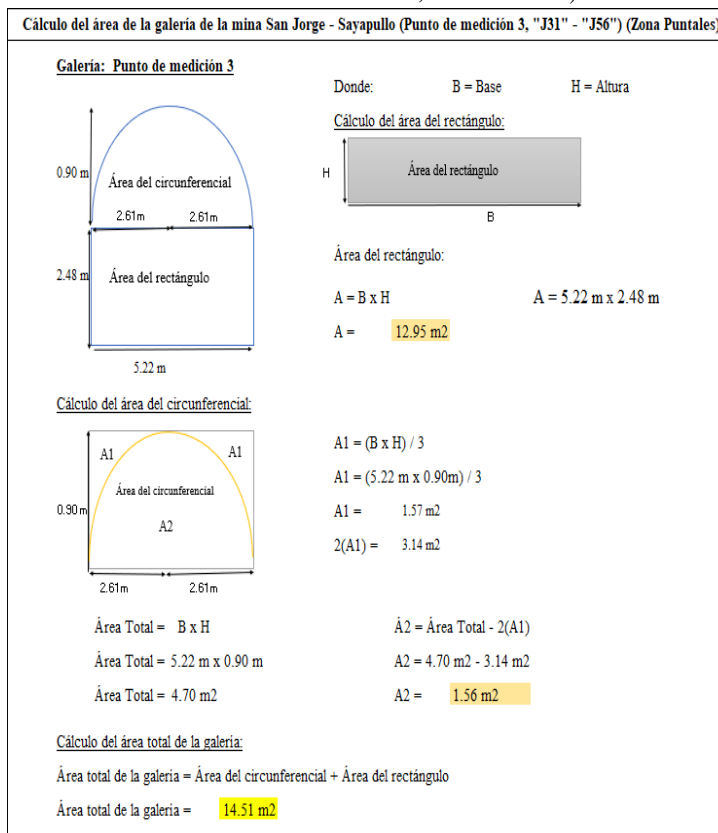
**Figura 25.**  
Cálculo del área. Punto de medición 1, "J31 - "J56")



**Figura 26.**  
*Cálculo del área. Punto de medición 2, "J31 - "J56")*

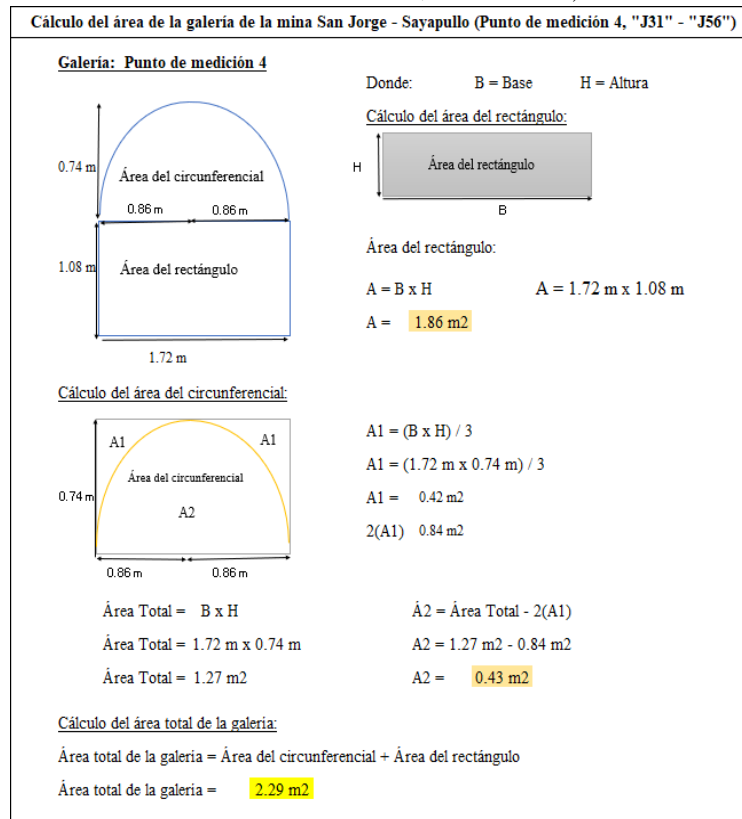


**Figura 27.**  
*Cálculo del área. Punto de medición 3, "J31 - "J56")*



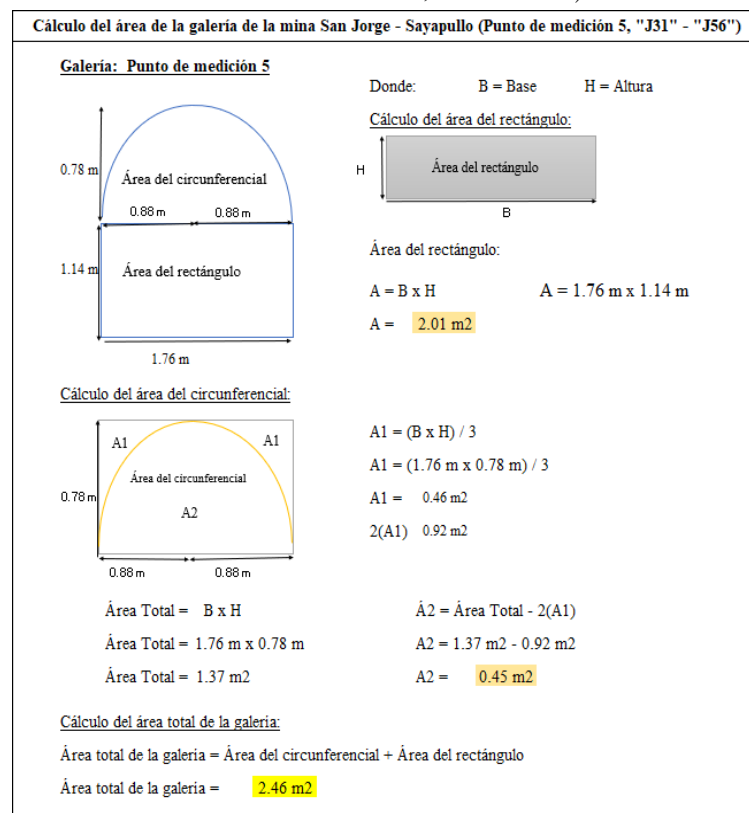
**Figura 28.**

*Cálculo del área. Punto de medición 4, "J31 - "J56")*

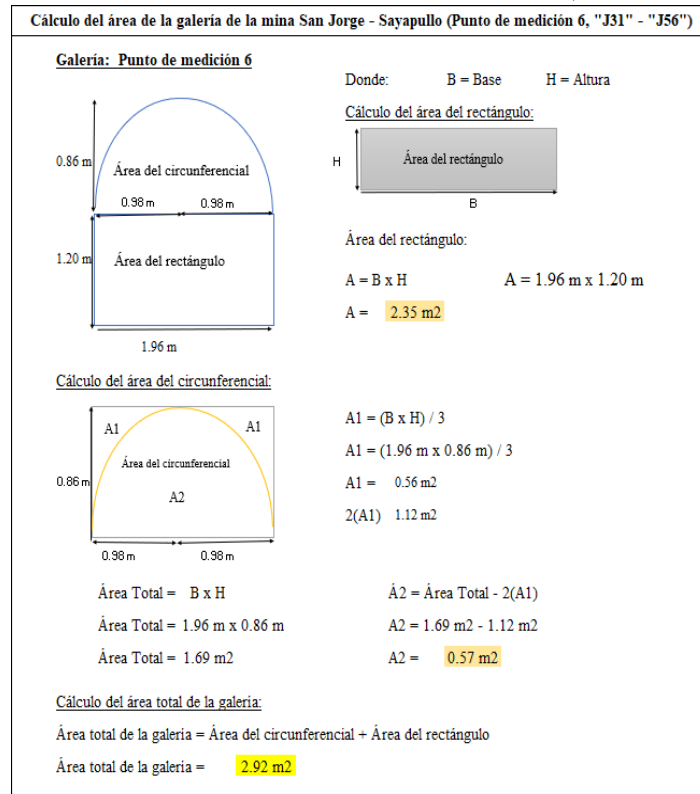


**Figura 29.**

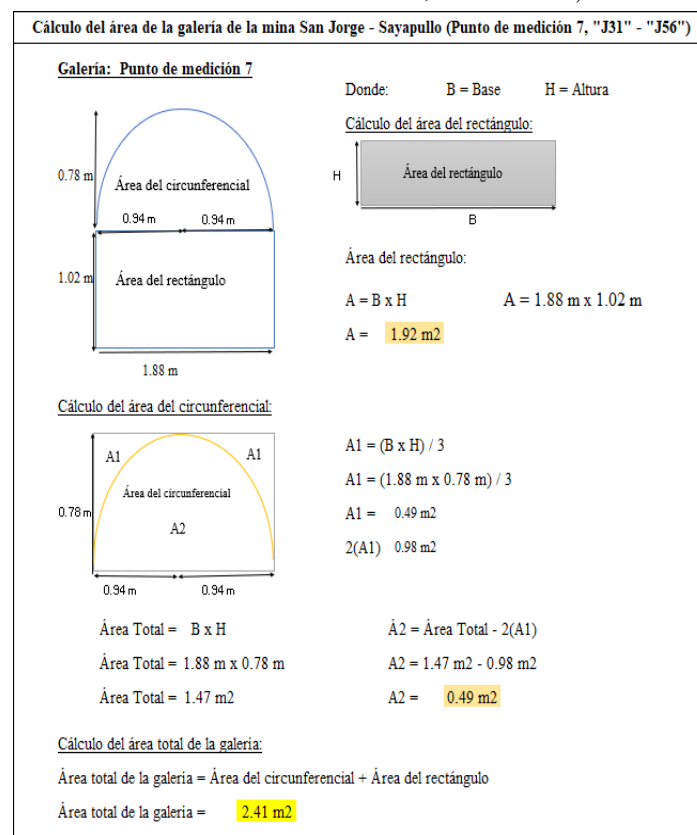
*Cálculo del área. Punto de medición 5, "J31 - "J56")*



**Figura 30.**  
**Cálculo del área. Punto de medición 6, "J31 - "J56")**



**Figura 31.**  
**Cálculo del área. Punto de medición 7, "J31 - "J56")**





**Tabla 4.**  
*Áreas tomadas de la galería desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56”*

Puntos de mediciones del área de la galería ("J31" - "J56")	
Punto de medición Área 1	2.59 m <sup>2</sup>
Punto de medición Área 2	3.69 m <sup>2</sup>
Punto de medición Área 3	14.51 m <sup>2</sup>
Punto de medición Área 4	2.29 m <sup>2</sup>
Punto de medición Área 5	2.46 m <sup>2</sup>
Punto de medición Área 6	2.92 m <sup>2</sup>
Punto de medición Área 7	2.41 m <sup>2</sup>

Fuente: Propia

Ya conociendo las 7 áreas de la galería al evaluar las características de la mina San Jorge, se procede a calcular el área promedio entre estas para su utilización en la ley Atkinson o ecuación Atkinson.

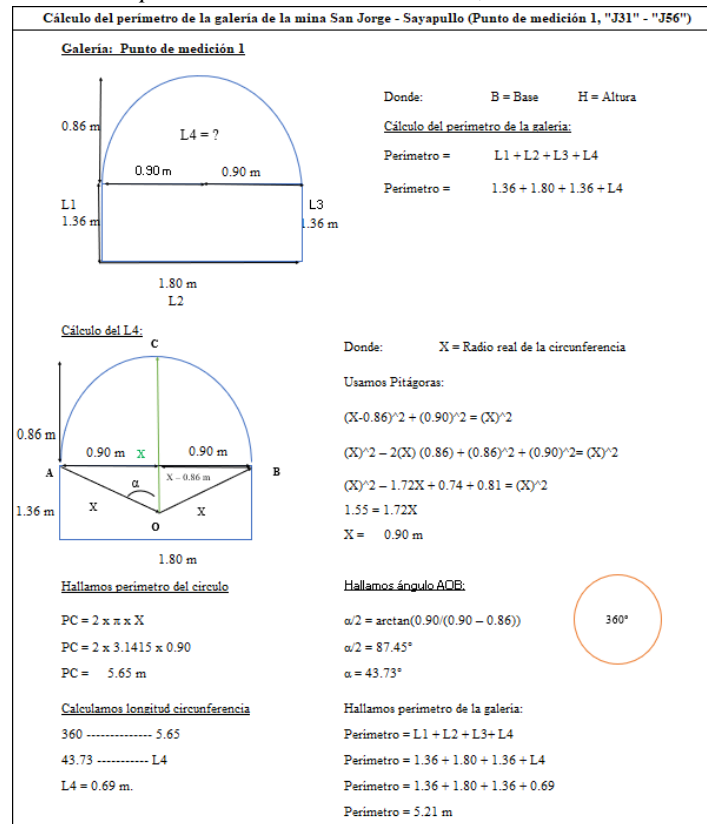
$$\text{Área promedio de la galería} = (2.59 \text{ m}^2 + 3.69 \text{ m}^2 + 14.51 \text{ m}^2 + 2.29 \text{ m}^2 + 2.46 \text{ m}^2 + 2.92 \text{ m}^2 + 2.41 \text{ m}^2) / 7$$

$$\text{Área promedio de la galería} = 4.41 \text{ m}^2.$$

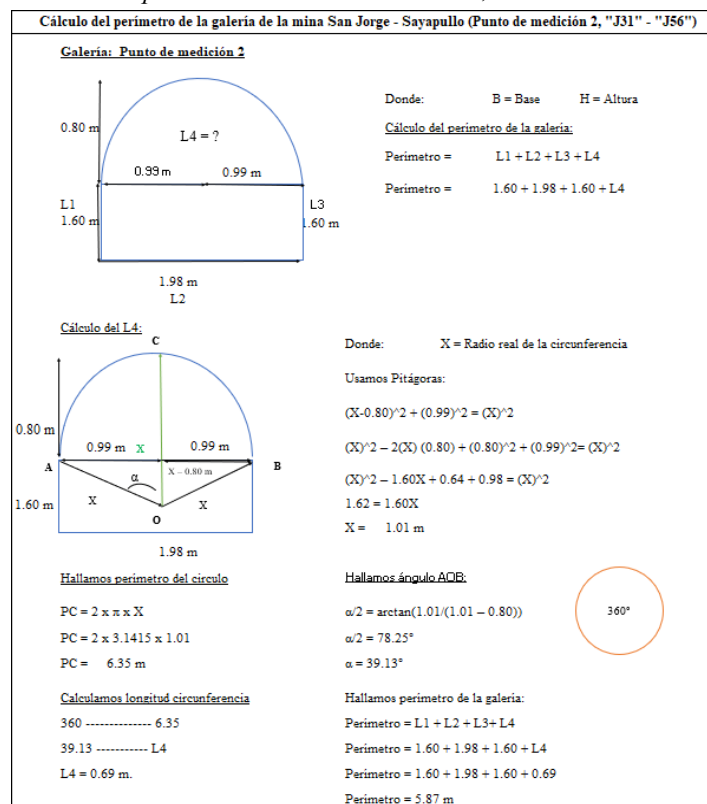
***Cálculo del perímetro promedio desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56” de la galería de la mina San Jorge.***

Para el perímetro promedio se realizó también una inspección in situ con el fin de obtener 7 puntos de mediciones de perímetros de la galería ya que su tamaño no es la misma debido a la falta de información que poseen los trabajadores de la mina San Jorge al realizar la voladura. En las siguientes figuras se detallará el procedimiento para dicho cálculo.

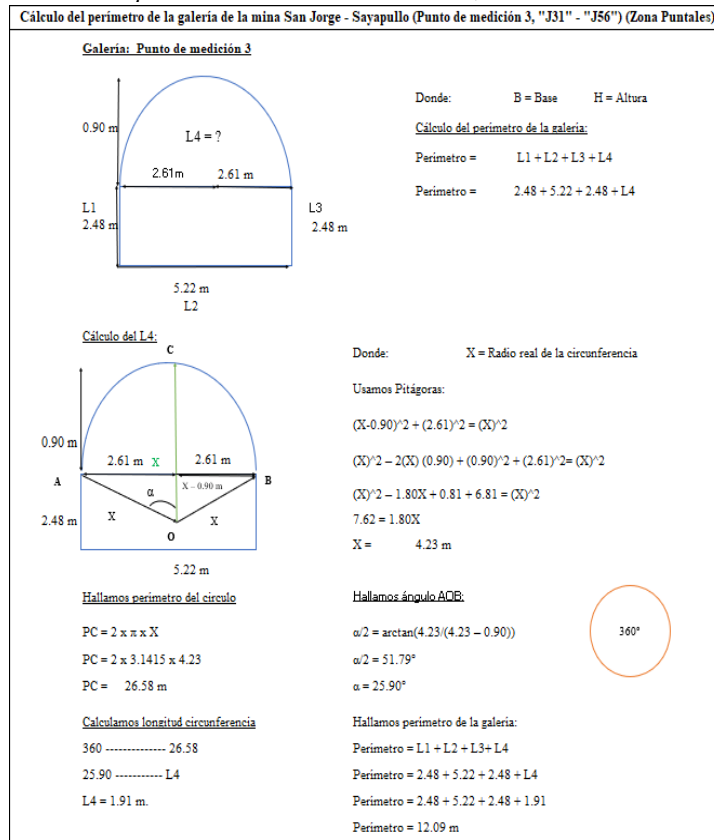
**Figura 32.**  
*Cálculo del perímetro. Punto de medición 1, "J31 - "J56"*



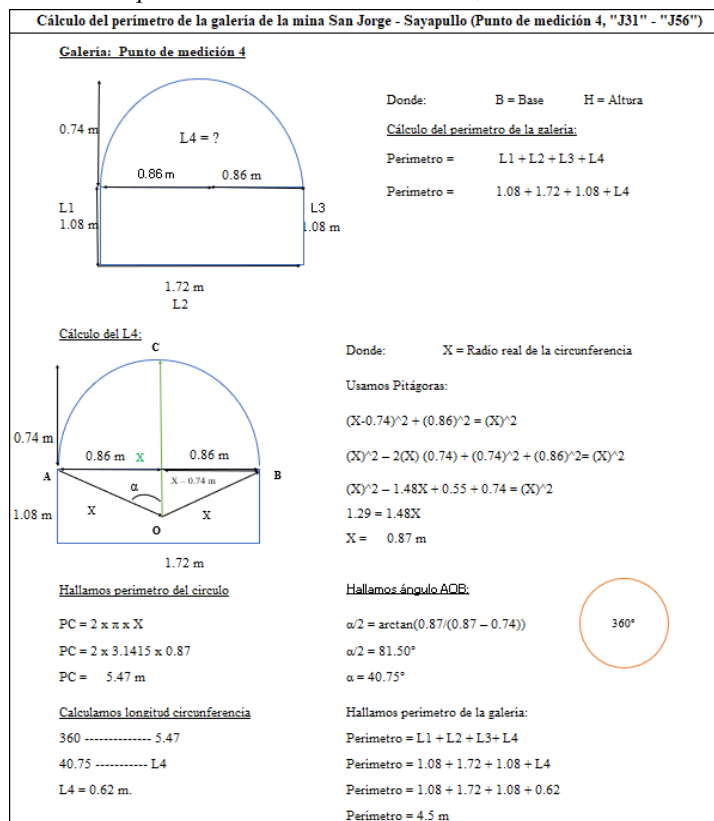
**Figura 33.**  
*Cálculo del perímetro. Punto de medición 2, "J31 - "J56"*



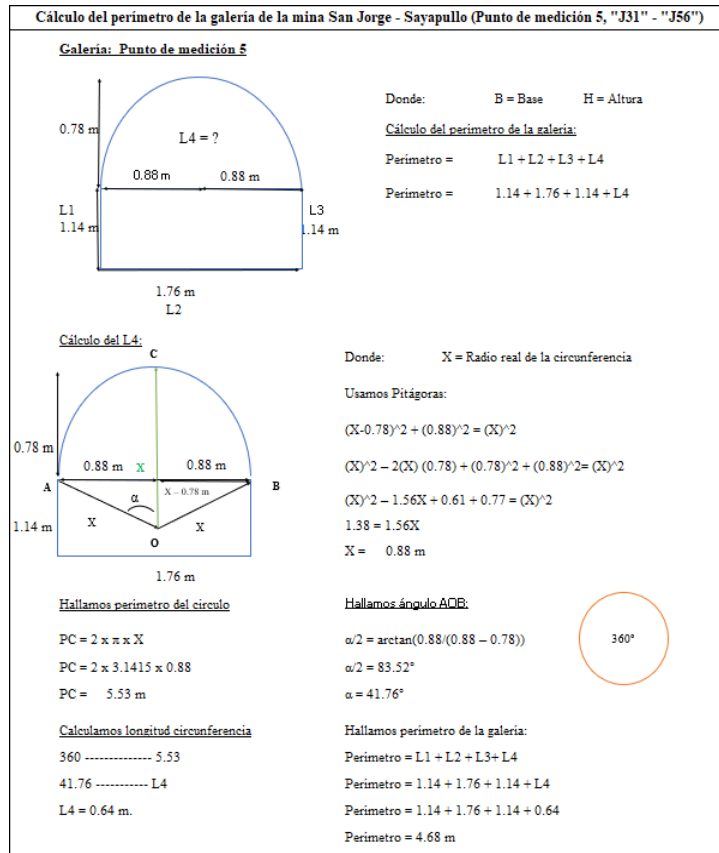
**Figura 34.**  
*Cálculo del perímetro. Punto de medición 3, "J31 - "J56"*



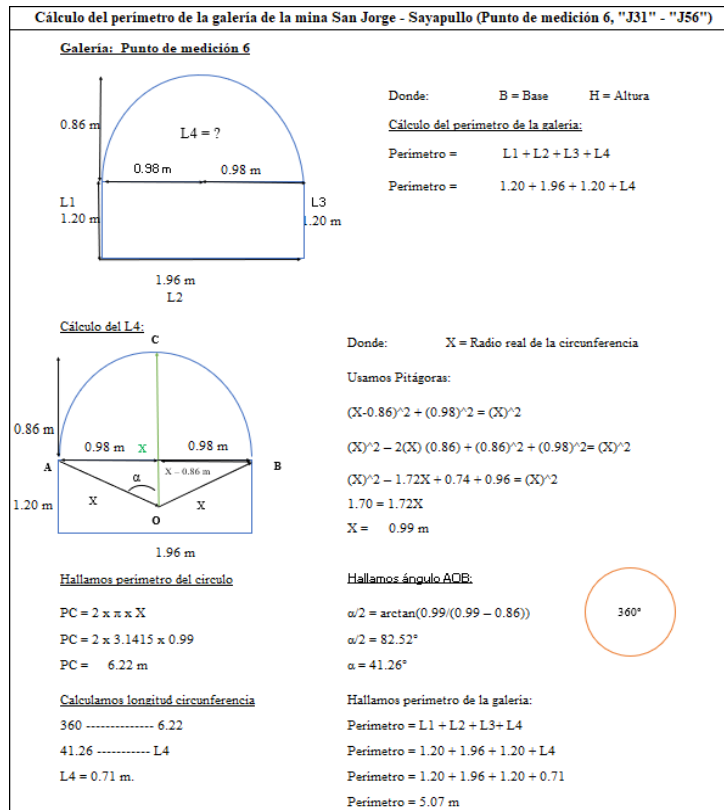
**Figura 35.**  
*Cálculo del perímetro. Punto de medición 4, "J31 - "J56"*



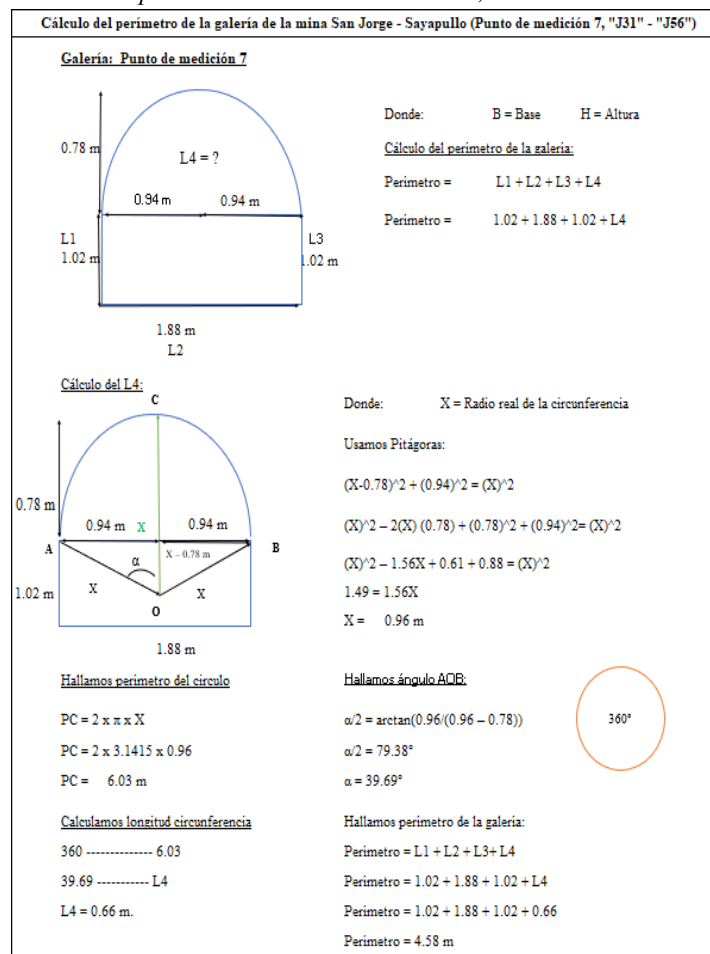
**Figura 36.**  
*Cálculo del perímetro. Punto de medición 5, "J31" - "J56"*



**Figura 37.**  
*Cálculo del perímetro. Punto de medición 6, "J31" - "J56"*



**Figura 38.**  
Cálculo del perímetro. Punto de medición 7, "J31 - "J56"



**Tabla 5.**  
Perímetros tomados de la galería desde el punto topográfico "J31" hasta el punto topográfico "J56"

Puntos de mediciones del perímetro de la galería ("J31" - "J56")	
Punto de medición Perímetro 1	5.21 m
Punto de medición Perímetro 2	5.87 m
Punto de medición Perímetro 3	12.09 m
Punto de medición Perímetro 4	4.50 m
Punto de medición Perímetro 5	4.68 m
Punto de medición Perímetro 6	5.07 m
Punto de medición Perímetro 7	4.58 m

Fuente: Propia

Ya conociendo los 7 perímetros de la galería al evaluar las características de la mina San Jorge, se procede a calcular el perímetro promedio entre estas para su utilización en la ley

Atkinson o ecuación Atkinson.

Perímetro promedio de la galería =  $(5.21 \text{ m} + 5.87 \text{ m} + 12.09 \text{ m} + 4.50 \text{ m} + 4.68 \text{ m} + 5.07 \text{ m} + 4.58 \text{ m}) / 7$

Perímetro promedio de la galería = 6.00 m.

***Longitud desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56”***

La longitud a la que se trabajará es desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56”, lo cual es de 330.86 metros.

***Cálculo del caudal total del aire de la galería minera desde “J31” hasta “J56”***

El caudal del aire de acuerdo al número de trabajadores será el mismo, pero a diferencia del caudal del aire de acuerdo al consumo de explosivos ya que el área promedio varía.

$$Q1 = 80 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$Q2 = 20 \text{ m}^3 / \text{min} * 1 * 4,41 \text{ m}^2$$

$$Q2 = 88.2 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$QT = 166.2 \text{ m}^3 / \text{min} \text{ Ó } 2.77 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$QT = 5869.29 \text{ CFM}$$

Ya calculado cada uno de los valores necesarios para el cálculo de la ley de Atkinson o ecuación de Atkinson el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56”, se procede a reemplazarlos en dicha ecuación.

Datos:

Área promedio de la galería (A) =  $4.41 \text{ m}^2$ .

Perímetro promedio de la galería (C) = 6.00 m.

Longitud a la que se colocara cada ventilador (L) = 330.86 m.

El caudal del aire en la mina San Jorge (Q) =  $2.77 \text{ m}^3 / \text{s}$ .

Densidad del aire en la mina San Jorge (w) =  $0.90 \text{ kg} / \text{m}^3$ .

Coefficiente de fricción de acuerdo a las características de la mina San Jorge (K) = 0.0088

Kg/m<sup>3</sup>

$$p = \frac{KCLQ^2}{A^3} \times \frac{w}{1,2}$$

$$p = \frac{0.0088 \times 6.00 \times 330.86 \times 2.77^2}{4.41^3} \times \frac{0.9}{1.2}$$

$$p = 1.17 \text{ Pa}$$

### ***Propuesta de diseño de sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge.***

Una vez ya conocido los valores encontrados de acuerdo a las características operacionales para el diseño del sistema de ventilación se procedió a escoger el tipo de ventilador, la cantidad de cada uno de estos ventiladores y su ubicación estratégica para el abastecimiento de aire, la dilución de gases tóxicos y la eliminación del polvo.

### **Selección de los ventiladores de acuerdo a las características de la galería San Jorge**

Debido al resultado del caudal total en CFM y a las características de la galería, se procedió a escoger un ventilador axial con una capacidad de 6000 CFM, de 3450 RPM, de 7.5 hp y con un diámetro de 12 pulgadas. Además, se colocará la cantidad necesaria de estos, lo cual serían 3, y finalmente se ubicarán estratégicamente en la galería para diluir los gases tóxicos producidos por la voladura y para el abastecimiento de aire a los trabajadores de la galería de la mina San Jorge. También se trabajará con una ventilación impelente ya que es ideal de acuerdo a las características de la mina San Jorge por ser de avance horizontal.

### **Costo del sistema de ventilación para la galería de la mina San Jorge**

El precio total por los 3 ventiladores junto con su manga de ventilación y adicional la instalación en la galería minera vendría a ser de \$15000, todo ello de acuerdo al proveedor Empresa Nepolo Fabricantes S.A.C ubicado en la cuadra 9 vallejo – Trujillo. El proveedor se compromete a realizar la fabricación de cada ventilador incluido la manga de ventilación, sus accesorios y su respectiva instalación.

### **Localización de los ventiladores axiales en la galería de la mina San Jorge**

Para la localización de cada ventilador fue necesario evaluar el levantamiento topográfico de la mina, lo cual se adjunta en el anexo 1 (foto del plano). Se determinó un ventilador principal en la bocamina ubicado en las coordenadas 9158880 Norte – 0778156 Este (UTM WGS 84 Zona 17M) con una capacidad de 6000 CFM, además se colocará un segundo ventilador de la misma capacidad ubicado dentro del punto topográfico “J31” a 247.09 m de la bocamina. Este segundo ventilador fue colocado en dicha ubicación ya que a continuación de ese punto se presenta áreas de la galería aproximadas de 15 m<sup>2</sup> (zona de sostenimiento).

Entre el primer ventilador y el segundo se colocará una manga de lona de 12 pulgadas de diámetro con el fin de permitir el ingreso de aire desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31”.

El tercer ventilador auxiliar se procedió a ubicarlo en el punto topográfico “J56” a 330.86 metros del punto topográfico “J31”, ya que más adelante se encontró un crucero, lo cual permitirá la influencia del aire de estas galerías.

El tercer ventilador se ubica en el punto j56 debido a que a partir de esa galería se unen varias ramificaciones de galerías que va servir para abastecer de aire a otras. En este caso para el tercer ventilador ya no se le conectará una manga de lona de 12 pulgadas de diámetro al segundo ventilador ya que por la misma fuerza del aire impulsada desde el segundo ventilador es que podrá abastecer de aire suficiente a la galería.

### ***Comparación de la demanda de aire en la galería de la mina***

Teniendo ya listo el diseño del sistema de ventilación se procederá a comparar el resultado de la demanda de aire por ventilación natural con el resultado de la demanda de aire con el diseño de ventilación para determinar si el dicho diseño mejoraría el caudal del aire dentro de la galería de la mina San Jorge



## *Análisis económico del diseño del sistema de ventilación en la galería de la mina San*

### *Jorge*

Para comprobar si el diseño del sistema de ventilación es viable para la mina se procedió a realizar un análisis económico. Para ello se utilizarán las utilidades de la mina San Jorge registradas en su flujo de caja del 2020 (Ver anexo 5).

Dentro de estas

Dentro del flujo de caja de la mina San Jorge tenemos:

Ingresos:

- Cuentas por cobrar (venta por el mineral)

Egresos:

- Trabajos preliminares
- Mina
- Campamento
- Gastos administrativos

**Figura 39.**
*Ingresos de la mina San Jorge en el año 2020*

Ingreso por venta de mineral (\$/tonelada/mensual) 1er,2do,3er,4to y 5to, 6to, 7to, 8vo, 9no, 10mo, 11avo, 12avo mensual														
Ingreso por venta: Mineral	Cant (ton.)	Mes												TOTAL ANUAL
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
		570.00 ton	630.00 ton	670.00 ton	690.00 ton	700.00 ton	740.00 ton	780.00 ton	630.00 ton	710.00 ton	740.00 ton	630.00 ton	650.00 ton	8140.00 ton
MINERAL	Precio (\$/ton)	US\$ 60.00	US\$ 64.00	US\$ 65.00	US\$ 60.00	US\$ 65.00	US\$ 62.00	US\$ 71.00	US\$ 65.00	US\$ 62.00	US\$ 65.00	US\$ 60.00	US\$ 64.00	
	Total venta (\$)	US\$ 34200.00	US\$ 40320.00	US\$ 43550.00	US\$ 41400.00	US\$ 45500.00	US\$ 45880.00	US\$ 55380.00	US\$ 40950.00	US\$ 44020.00	US\$ 48100.00	US\$ 37800.00	US\$ 41600.00	US\$ 518700.00

Fuente: Mina San Jorge

**Figura 40.**
*Egresos de la mina San Jorge en el año 2020*

Egresos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Trabajos Preliminares</b>												
Exploración en mina	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00
Habilitación de accesos en mina	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00
Derecho de pase (Comunidad)	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00
Proyecto cierre de mina	US\$ 3200.00					US\$ 3200.00						
<b>Mina</b>												
Instalación de sistema de ventilación	US\$ 15000.00											
Mano de Obra (9% beneficios sociales)	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00
Insumos	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00
Muestreo, prueba de laboratorio	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00
Estudio de Impacto ambiental	US\$ 2000.00					US\$ 2000.00						
Cierre de Mina	US\$ 800.00					US\$ 800.00						
<b>Campamento</b>												
Habilitación de campamento	US\$ 2000.00											
Mano de Obra (9% beneficios sociales)	US\$ 746.00											
Mano de obra y Transporte terrestre de mina	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00
<b>Gastos Administrativos</b>												
Tramites varios	US\$ 900.00											
Alquileres (oficina, varios)	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00
<b>Total de egresos (\$)</b>	<b>US\$ 43642.00</b>	<b>US\$ 18996.00</b>	<b>US\$ 18996.00</b>	<b>US\$ 18996.00</b>	<b>US\$ 18996.00</b>	<b>US\$ 24996.00</b>	<b>US\$ 18996.00</b>	<b>US\$ 18996.00</b>	<b>US\$ 18996.00</b>	<b>US\$ 18996.00</b>	<b>US\$ 18996.00</b>	<b>US\$ 18996.00</b>
<b>Saldo flujo de caja (\$)</b>	<b>-US\$ 9442.00</b>	<b>US\$ 21324.00</b>	<b>US\$ 24554.00</b>	<b>US\$ 22404.00</b>	<b>US\$ 26504.00</b>	<b>US\$ 20884.00</b>	<b>US\$ 36384.00</b>	<b>US\$ 21954.00</b>	<b>US\$ 25024.00</b>	<b>US\$ 29104.00</b>	<b>US\$ 18804.00</b>	<b>US\$ 22604.00</b>

Fuente: Mina San Jorge

### ***VAN del diseño del sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge***

Para el cálculo del VAN se utilizaron las utilidades obtenidas de cada mes del año 2020 de la mina San Jorge. Además de ello, se tuvo cuenta la inversión de 15.000 dólares para el diseño del sistema de ventilación. Dicho monto es un préstamo proyectado en el Banco de Crédito del Perú a una tasa mensual del 8%. Este dato fue proporcionado por el Ing. Saavedra debido a que se generan préstamos de esos montos en la mina San Jorge para alguna reparación o adquisición de un nuevo equipo.

Teniendo en cuenta lo mencionado, el VAN para la mina San Jorge en el año 2020 es de US\$165,054.42.

### ***TIR del diseño del sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge***

Para el cálculo del TIR se utilizaron las utilidades obtenidas de cada mes del año 2020 de la mina San Jorge.

Teniendo en cuenta lo mencionado, el TIR para la mina San Jorge en el año 2020 es de 235% por lo que el diseño de un sistema de ventilación no afectaría a la rentabilidad de la mina San Jorge para el año 2020.

### ***Plazo de recuperación***

Para calcular el plazo de recuperación se tiene en cuenta el número de meses que fue necesario para obtener la utilidad cercana al monto de inversión inicial.

### ***Validez y confiabilidad de la información***

La información utilizada fue recogida a través de instrumentos, tales como una wincha, termómetro y de análisis documentario. Además de ello, se procedió a calcular cada dato mediante fórmulas y sobre todo utilizando aquellas fórmulas de acuerdo a las características de la galería de la mina San Jorge

### ***Para analizar la información***

Luego de haber utilizado los instrumentos para la recolección de cada dato necesario

en el desarrollo de la investigación, se procedió a ubicar cada uno de ellos en su respectiva fórmula. Esto además permitió generar cuadros donde se describen los resultados finales de esta investigación.

### ***Aspectos éticos de la investigación***

En esta investigación se está referenciando cada fórmula empleada y citando cada fuente para el desarrollo de la investigación. Además de ello, se cuenta con la autorización del Ing. Saavedra (ver en el anexo 17) para el uso de cada dato extraído en la galería de la mina San Jorge con la finalidad de mejorar la ventilación en esta galería implementando un sistema de ventilación.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

#### Resultados del análisis de la problemática de la ventilación en la galería de la mina.

La galería de la mina San Jorge no posee un caudal del aire por ventilación natural lo suficiente para abastecer de aire a sus trabajadores. Lo cual se puede apreciar en las siguientes figuras. Dichos resultados son un extracto de los registros del sistema de gestión en seguridad y salud en el trabajo para las medidas de ventilación del año 2020.

**Figura 41.**

*Resultados del caudal del aire por ventilación natural desde enero a junio del 2020*

6/01/2020				10/02/2020			
MINA SAN JORGE				MINA SAN JORGE			
Nº	PUNTO DE MEDICION	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)	Nº	PUNTO DE MEDICION	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)
1	J2	19.11	7.93	1	J5	19.09	7.92
2	J21	19.09	7.92	2	J21	19.09	7.92
3	J35	19.11	7.93	3	J35	19.11	7.93
4	J48	19.09	7.92	4	J48	19.09	7.92
5	J56	19.09	7.92	5	J56	19.09	7.92
15/03/2020				2/04/2020			
MINA SAN JORGE				MINA SAN JORGE			
Nº	PUNTO DE MEDICION	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)	Nº	PUNTO DE MEDICION	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)
1	J2	19.11	7.93	1	J4	19.11	7.93
2	J21	19.09	7.92	2	J24	19.11	7.93
3	J35	19.11	7.93	3	J30	19.11	7.93
4	J48	19.09	7.92	4	J45	19.11	7.93
5	J56	19.09	7.92	5	J56	19.09	7.92
8/05/2020				7/06/2020			
MINA SAN JORGE				MINA SAN JORGE			
Nº	PUNTO DE MEDICION	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)	Nº	PUNTO DE MEDICION	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)
1	J2	19.09	7.92	1	J3	19.11	7.93
2	J17	19.09	7.92	2	J19	19.09	7.92
3	J29	19.11	7.93	3	J26	19.09	7.92
4	J41	19.09	7.92	4	J36	19.09	7.92
5	J56	19.11	7.93	5	J56	19.09	7.92

Fuente: Mina San Jorge

**Figura 42.**

*Resultados del caudal del aire por ventilación natural desde julio a diciembre del 2020*

1/07/2020				5/08/2020			
MINA SAN JORGE				MINA SAN JORGE			
Nº	PUNTO DE MEDICION	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)	Nº	PUNTO DE MEDICION	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)
1	J2	19.11	7.93	1	J3	19.11	7.93
2	J18	19.11	7.93	2	J22	19.11	7.93
3	J32	19.09	7.92	3	J27	19.11	7.93
4	J48	19.09	7.92	4	J50	19.09	7.92
5	J56	19.09	7.92	5	J56	19.09	7.92
4/09/2020				5/10/2020			
MINA SAN JORGE				MINA SAN JORGE			
Nº	PUNTO DE MEDICION	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)	Nº	PUNTO DE MEDICION	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)
1	J2	19.11	7.93	1	J2	19.11	7.93
2	J20	19.09	7.92	2	J22	19.11	7.93
3	J29	19.09	7.92	3	J34	19.09	7.92
4	J39	19.09	7.92	4	J41	19.09	7.92
5	J56	19.09	7.92	5	J56	19.09	7.92
4/11/2020				2/12/2020			
MINA SAN JORGE				MINA SAN JORGE			
Nº	PUNTO DE MEDICION	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)	Nº	PUNTO DE MEDICION	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)
1	J3	19.11	7.93	1	J3	19.11	7.93
2	J22	19.11	7.93	2	J26	19.09	7.92
3	J27	19.11	7.93	3	J30	19.09	7.92
4	J50	19.09	7.92	4	J34	19.09	7.92
5	J56	19.09	7.92	5	J56	19.09	7.92

Fuente: Mina San Jorge

## Resultados de los parámetros de la ley de Atkinson para el diseño del sistema de ventilación.

En la presente figura se detalla los resultados para la obtención de la pérdida de presión en los 3 puntos evaluados, desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31” y desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56”.

**Figura 43.**

*Resultados de la fórmula Atkinson para la implementación de un sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge*

Implementación del sistema de ventilación en la mina San Jorge en el año 2020			
Atkinson desde la bocamina hasta el punto topográfico "J31"			2.24 Pa
Área promedio	2.41 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio	4.62 m
Área promedio 1	2.36 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 1	4.59 m
Área promedio 2	2.48 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 2	4.70 m
Área promedio 3	2.47 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 3	4.70 m
Área promedio 4	2.54 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 4	4.75 m
Área promedio 5	2.13 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 5	4.34 m
Área promedio 6	2.37 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 6	4.55 m
Área promedio 7	2.49 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 7	4.73 m
Longitud desde la bocamina hasta el punto topográfico "J31"			247.09 m
Caudal total del aire	2.14 m <sup>3</sup> /s		
Caudal de aire por número de personas	1.33 m <sup>3</sup> /s		
Caudal del aire debido a la voladura	0.80 m <sup>3</sup> /s		
Densidad del aire	0.90 Kg/m <sup>3</sup>		
Presión barométrica o atmosférica	21.41 inHg		
Temperatura de la galería	50 °F		
Coefficiente de fricción (galería)	0.00879 kg/m <sup>3</sup>		
Atkinson desde el punto topográfico "J31" hasta el punto topográfico "J56"			1.17 Pa
Área promedio	4.41 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio	6.00 m
Área promedio 1	2.59 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 1	5.21 m
Área promedio 2	3.69 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 2	5.87 m
Área promedio 3	14.51 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 3	12.09 m
Área promedio 4	2.29 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 4	4.50 m
Área promedio 5	2.46 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 5	4.68 m
Área promedio 6	2.92 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 6	5.07 m
Área promedio 7	2.41 m <sup>2</sup>	Perímetro promedio 7	4.58 m
Longitud desde el punto topográfico "J31" hasta el punto topográfico "J56"			330.86 m
Caudal total del aire	2.77 m <sup>3</sup> /s		
Caudal de aire por número de personas	1.33 m <sup>3</sup> /s		
Caudal del aire debido a la voladura	1.46 m <sup>3</sup> /s		
Densidad del aire	0.90 Kg/m <sup>3</sup>		
Presión barométrica o atmosférica	21.41 inHg		
Temperatura de la galería	50 °F		
Coefficiente de fricción (galería)	0.00879 kg/m <sup>3</sup>		

Fuente: Propia

## Resultados de la propuesta del diseño del sistema de ventilación bajo los parámetros de la ley de Atkinson.

### *Tipo ventilador a utilizar en la mina San Jorge de acuerdo a los resultados del caudal del aire y de las presiones*

Debido a que en la galería de la mina San Jorge se encuentran presiones positivas con una ventilación impelente, el tipo de ventilador a implementar en el diseño de ventilación de la galería de la mina San Jorge será axial. Las características del ventilador axial se detallan en la siguiente figura. Adicional a ello, sus especificaciones técnicas se encuentran en el anexo 18.

#### **Figura 44.**

*Tipo de ventilador a utilizar en la mina San Jorge de acuerdo a los resultados del caudal del aire y de las presiones*

Tipo de ventilador a utilizar en el sistema de ventilación de la galería de la mina San Jorge	
Tipo de ventilador	
	Axial
Razones:	Necesario para mover grandes cantidades de caudal de aire con una relativa baja presión
Caudal del aire para la mina San Jorge desde bocamina hasta "J31"	2.14 m <sup>3</sup> /s o 4527.34 CFM
Caudal del aire para la mina San Jorge desde "J31" hasta "J56"	2.77 m <sup>3</sup> /s o 5869.29 CFM
Relativa presión baja	2.24 Pa y 1.17 Pa
Capacidad	6000 CFM
Tamaño carcasa	440 x 725 mm
Potencia	7.5 hp
Diámetro	12 pulgadas

Fuente: Propia

### *Tipo de ventilación para la galería de la mina San Jorge*

Para el diseño del sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge se utilizarán mangas de ventilación para la circulación del aire en la galería, adicional a ello el aire será impulsada por medio de ventiladores. Además, la galería de la mina San Jorge posee avances horizontales. Por lo que de acuerdo a dichas características el tipo de ventilación ideal para el diseño de ventilación en la galería de la mina San Jorge será impelente.

**Figura 45.**

*Tipo de ventilación a utilizar en la galería de la mina San Jorge*

Tipo de ventilación a utilizar en la galería de la mina San Jorge	
Tipo de ventilación	Impelente
Razones:	El aire fluirá a través de mangas de ventilación y es ideal para avances horizontales
Medio por donde fluirá el aire	Mangas de ventilación
Tipo de avance de la galería de la mina San Jorge	Horizontal

Fuente: Propia

### ***Manga de ventilación de acuerdo a las características de la galería de la mina San Jorge***

Para la selección del tipo de manga de ventilación se tomó en cuenta las características de la galería de la mina San Jorge. Debido a que las presiones son positivas y el tipo de ventilación será impelente es que la manga de ventilación debe ser de ducto redondo.

Las características de la manga de ventilación serán de acuerdo al sistema de ventilación a diseñar. El material será de lona por ser un buen conductor de fluido de aire y su diámetro será igual al diámetro del ventilador axial, en este caso de 12 pulgadas. Para mayor detalle, sus especificaciones técnicas se encuentran en el anexo 19.

**Figura 46.**

*Manga de ventilación para la mina San Jorge*

Instalación de la manga de ventilación en la mina San Jorge	
Tipo de manga de ventilación	Ducto redondo
Razones:	Por las presiones positivas y el tipo de ventilación impelente
Presiones positivas	2.24 Pa y 1.17 Pa
Tipo de ventilación	Impelente
Características de la manga de ventilación	De lona y de 12 pulgadas de diámetro
Razones:	La lona es una material de gran eficacia para el transporte de fluido de aire y será de 12 pulgadas de diámetro debido al diámetro que posee el ventilador axial
Tipo de material de la manga de ventilación	De lona
Diámetro de la manga de ventilación	12 pulgadas de diámetro
Instalación de la manga de ventilación entre los ventiladores	
Manga de ventilación conectada desde el primero ventilador hasta el segundo ventilador	
Razones:	Se colocará una manga de ventilación de lona de 12 pulgadas de diámetro con el fin de permitir el ingreso de aire desde el primer ventilador ubicado en la bocamina hasta el segundo ventilador ubicado en el punto topográfico "J31"
No se colocará una manga de ventilación entre el segundo y tercer ventilador	
Razones:	Para el tercer ventilador ubicado en el punto topográfico "J56" ya no se le conectará una manga de lona de 12 pulgadas de diámetro conectado al segundo ventilador ubicado en el punto topográfico "J31" ya que por la misma fuerza del aire impulsada desde el segundo ventilador es que podrá abastecer de aire suficiente a la galería.



Fuente: Propia

Sólo se colocará la manga de ventilación entre el primer y segundo ventilador ya que el fluido a transportar será hasta una determinada distancia por los permisos otorgados por la empresa. Entre el segundo y tercer ventilador no se colocará una manga de ventilación puesto que por la misma fuerza del aire impulsada desde el segundo ventilador es que se podrá abastecer de aire suficiente hasta el punto topográfico “J56”

### ***Ubicación de los ventiladores en la galería de la mina San Jorge***

La ubicación de cada ventilador fue estratégicamente de acuerdo a las características de la galería de la mina San Jorge. En la siguiente figura se detalla las razones de la ubicación de cada ventilador y sus características para el diseño del sistema de ventilación.

**Figura 47.**

*Ubicación de los ventiladores en la mina San Jorge*

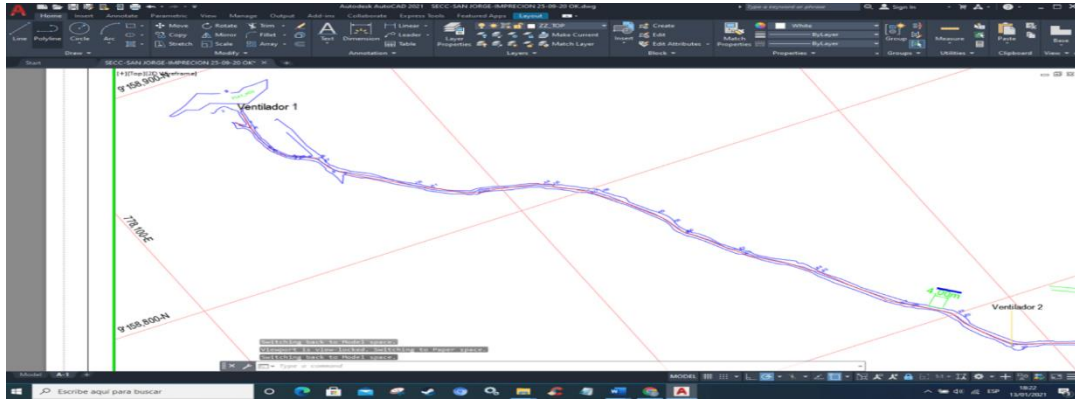
Ubicación de los ventiladores en la mina San Jorge	
Primer ventilador	Bocamina
Razones:	Será el punto inicial para la implementación del sistema de ventilación
Ubicación del primer ventilador	Bocamina
Tipo de ventilador	Axial de 6000 CFM con 12 pulgadas de diámetro y con una potencia de 7.5 hp
Manga de ventilación	De lona y de 12 pulgadas de diámetro. Del tipo ducto redondo
Segundo ventilador	Punto topográfico "J31"
Razones:	El segundo ventilador fue colocado en dicha ubicación ya que a continuación de ese punto se presenta una área aproximada de 15 m <sup>2</sup> (zona de sostenimiento).
Ubicación del Segundo ventilador	Punto topográfico "J31"
Tipo de ventilador	Axial de 6000 CFM con 12 pulgadas de diámetro y con una potencia de 7.5 hp
Manga de ventilación	De lona y de 12 pulgadas de diámetro. Del tipo ducto redondo
Tercer ventilador	Punto topográfico "J56"
Razones:	A partir de ese punto topográfico se unen varias ramificaciones de galerías que va servir para abastecer de aire a otras, lo cual garantiza una mejor ventilación en la zona de trabajo.
Ubicación del tercer ventilador	Punto topográfico "J56"
Tipo de ventilador	Axial de 6000 CFM con 12 pulgadas de diámetro y con una potencia de 7.5 hp
Manga de ventilación	Ya no se le conectará una manga de lona de 12 pulgadas de diámetro al segundo ventilador debido a que por la misma fuerza del aire impulsada desde el segundo ventilador es que podrá abastecer de aire suficiente a la galería.

Fuente: Propia

El primer ventilador fue colocado en la bocamina como punto de inicio para el sistema de ventilación. Este ventilador abastecerá de aire hasta determinada distancia ya que se conectará con un segundo ventilador mediante mangas de ventilación para garantizar el fluido del aire dentro de la galería de la mina San Jorge.

**Figura 48.**

*Ubicación del primer y segundo ventilador en la galería de la mina San Jorge*

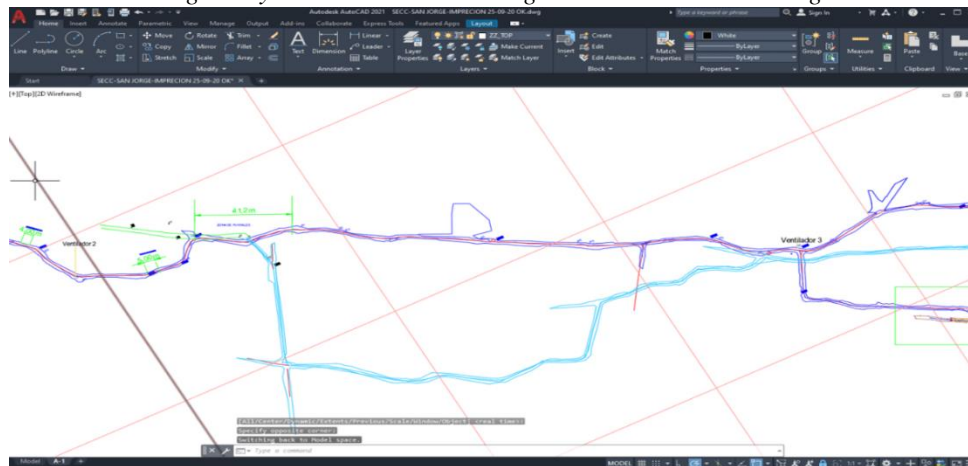


Fuente: Mina San Jorge

Para el segundo ventilador se colocó en el punto topográfico “J31” ya que a continuación de dicho punto se presenta un área aproximada de 15m<sup>2</sup> (zona de sostenimiento). Y, por último, el tercer ventilador se colocará en el punto topográfico “J56” ya que en dicho punto se unen varias ramificaciones de galerías lo cual garantizaría una mejor ventilación en la zona de trabajo.

**Figura 49.**

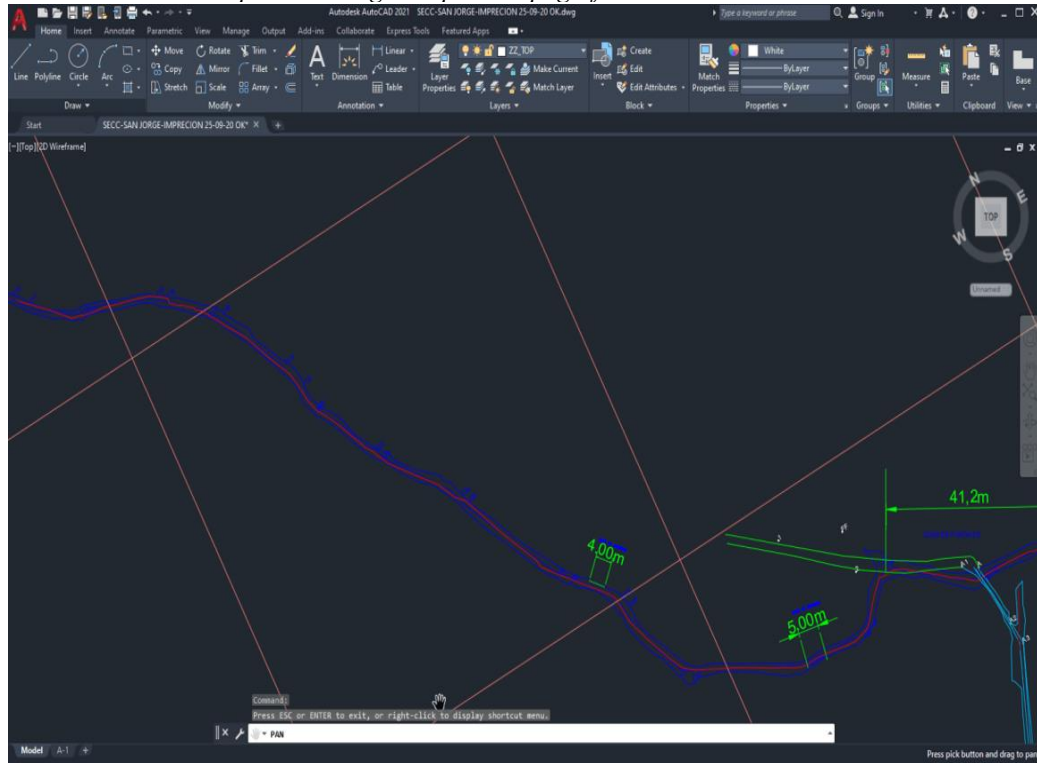
*Ubicación del segundo y tercer ventilador en la galería de la mina San Jorge*



Fuente: Mina San Jorge

**Figura 50.**

*Presencia de zona de puntales luego del punto topográfico “J31”*



Fuente: Mina San Jorge

## Resultados de la comparación de la demanda del aire de la mina

En la presente figura se detalla los resultados de la comparación de la demanda de aire por ventilación natural con la demanda de aire mediante un diseño de un sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge.

**Figura 51.**

*Resultado de los caudales antes y después de la implementación del sistema de ventilación*

Caudal de la mina San Jorge	
Antes de la implementación del sistema de ventilación	Después de la implementación del sistema
19.09 m <sup>3</sup> /m	128.2 m <sup>3</sup> /m y 166.2 m <sup>3</sup> /m

Fuente: Propia

Al diseñar un sistema de ventilación teniendo en cuenta las características operacionales de la galería de la mina San Jorge se mejoraría en un 571.56% el caudal del aire desde la bocamina

hasta el punto topográfico “J31” y se mejoraría en un 770.61% el caudal del aire desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56”.

### Resultado del análisis económico del diseño del sistema de ventilación usando el VAN y el TIR.

En la siguiente figura se detalla la los resultados del VAN y TIR para determinar si el diseño de un sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge es viable.

**Figura 52.**

*Resultado del análisis económico de la implementación del sistema de ventilación*

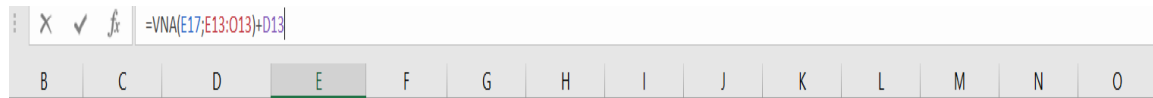
Análisis económico de la mina San Jorge			
VAN de la mina San Jorge en el 2020		US\$ 165,054.42	
Razones:	De acuerdo a las utilidades obtenidas en el año 2020		
Enero	-US\$ 9442.00	Julio	US\$ 36384.00
Febrero	US\$ 21324.00	Agosto	US\$ 21954.00
Marzo	US\$ 24554.00	Septiembre	US\$ 25024.00
Abril	US\$ 22404.00	Octubre	US\$ 29104.00
Mayo	US\$ 26504.00	Noviembre	US\$ 18804.00
Junio	US\$ 20884.00	Diciembre	US\$ 22604.00
TIR de la mina San Jorge en el 2020		235%	
Razones:	De acuerdo a las utilidades obtenidas en el año 2020		
Enero	-US\$ 9442.00	Julio	US\$ 36384.00
Febrero	US\$ 21324.00	Agosto	US\$ 21954.00
Marzo	US\$ 24554.00	Septiembre	US\$ 25024.00
Abril	US\$ 22404.00	Octubre	US\$ 29104.00
Mayo	US\$ 26504.00	Noviembre	US\$ 18804.00
Junio	US\$ 20884.00	Diciembre	US\$ 22604.00

Fuente: Mina San Jorge

Debido al costo generado por un monto de US\$ 15.000 para la instalación del sistema de ventilación, es que para el mes de enero no se genera ganancias. Sin embargo, este monto no afecta a la rentabilidad de la empresa ya que cada cierto tiempo solicitan préstamos por montos aproximados al de esta investigación, ya sean para alguna reparación o para la adquisición de un equipo minero.

En la siguiente figura se observa los cálculos específicos que permitieron llegar al resultado del VAN.

**Figura 53.**  
*Cálculos específicos del VAN*



ESTADO DE RESULTADOS MES 1 - 12												
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
VENTAS (\$)	34,200.00	40,320.00	43,550.00	41,400.00	45,500.00	45,880.00	55,380.00	40,950.00	44,020.00	48,100.00	37,800.00	41,600.00
COSTO DE VE	43,642.00	18,996.00	18,996.00	18,996.00	18,996.00	24,996.00	18,996.00	18,996.00	18,996.00	18,996.00	18,996.00	18,996.00
UTILIDAD BR	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
	-9,442.00	21,324.00	24,554.00	22,404.00	26,504.00	20,884.00	36,384.00	21,954.00	25,024.00	29,104.00	18,804.00	22,604.00

Tasa de interés	8%
VAN	O13)+D13

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta que el mes de enero fue de inversión se tiene que con los ingresos y egresos para dicho mes lo único a invertir fue de US\$9442 ya que es lo que le faltó para no generar pérdida.

Para el cálculo del VAN mediante el programa de Excel se desarrolló la fórmula del VAN dentro de dicho programa. Dicha fórmula está simplificada de la siguiente manera:

=VNA (tasa de interés, el valor de la inversión del mes 1, los flujos de caja del mes 2 al mes 12).

Ya desarrollada dicha fórmula se obtiene como resultado que para el año 2020 en la mina San Jorge se obtendría un VAN de US\$ 165,054.42

De igual forma se obtuvo el resultado del TIR. En la siguiente figura se puede observar los cálculos específicos que permitieron la obtención del TIR.

**Figura 54.**

*Cálculos específicos del TIR*

X ✓ fx =TIR(D13:O13)

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ESTADO DE RESULTADOS MES 1 - 12												
	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
VENTAS (\$)	34,200.00	40,320.00	43,550.00	41,400.00	45,500.00	45,880.00	55,380.00	40,950.00	44,020.00	48,100.00	37,800.00	41,600.00
COSTO DE VE	43,642.00	18,996.00	18,996.00	18,996.00	18,996.00	24,996.00	18,996.00	18,996.00	18,996.00	18,996.00	18,996.00	18,996.00
UTILIDAD BR	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
	-9,442.00	21,324.00	24,554.00	22,404.00	26,504.00	20,884.00	36,384.00	21,954.00	25,024.00	29,104.00	18,804.00	22,604.00

TIR =TIR(D13:O13)

Fuente: Propia

Para la obtención del TIR se utilizó el programa de Excel mediante la siguiente fórmula:

=TIR (Arrastre desde la inversión hasta el último flujo de caja)

Ya desarrollada dicha fórmula se obtuvo un TIR del 235%.

Adicional a ello con un plazo de recuperación de 0.89 meses

**Figura 55.**

*Plazo de recuperación*

G7 = 1 + (9442 - H7)/G5

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Total de ingresos (\$)	US\$ 34200.00	US\$ 40320.00	US\$ 43550.00	US\$ 41400.00	US\$ 45500.00	US\$ 45880.00	US\$ 55380.00	US\$ 40950.00	US\$ 44020.00	US\$ 48100.00	US\$ 37800.00	US\$ 41600.00
Total de egresos (\$)	US\$ 43642.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 24996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00
	-US\$ 9442.00	US\$ 21324.00	US\$ 24554.00	US\$ 22404.00	US\$ 26504.00	US\$ 20884.00	US\$ 36384.00	US\$ 21954.00	US\$ 25024.00	US\$ 29104.00	US\$ 18804.00	US\$ 22604.00
Plazo recuperación:	0.89 meses											

Fuente: Propia

Por estas razones es que el diseño de un sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge es rentable, tal como lo demuestra el valor del VAN por US\$ 165,054.42 y el valor TIR por 235% y su plazo de recuperación de 0.89 meses

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

Al calcular las diferencias de presiones en la mina San Jorge se obtuvo que desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31” existe una presión de 2.24 Pa y del punto topográfico “J31” al punto topográfico “J56” existe otra presión de 1.17 Pa, esto logra confirmar lo mencionado por Llano(2017) en su investigación ““Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de minera SOTRAMI S.A. – UEA Santa Filomena – aplicando el software Ventsim” donde indica que “para que el aire fluya de un punto a otro, debe haber una diferencia de presión entre los dos puntos”. Es por ello que mediante Atkinson se logra diseñar un sistema de ventilación en la mina San Jorge.

Al desarrollar Atkinson se logra determinar que el diámetro necesario para el ducto de ventilación en la mina San Jorge será de 12 pulgadas además de que dicho ventilador podrá abastecer una distancia de 247.09 m desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31” y otra distancia de 330.86m desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56” de acuerdo a las características de la mina San Jorge. Esto confirma lo mencionado por Sánchez (2004) en su tesis titulada “Ventilación en la unidad minera de Uchucchacua” donde indica que “Atkinson la cual también nos permite no solo escoger el diámetro del ducto sino también calcular hasta que distancia puede llegar el aire.”

Mediante un análisis económico se obtuvo un VAN de US\$165,054.42 y un TIR de 235% para el diseño de un sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge. Al tener un VAN positivo el diseño del sistema de ventilación es viable tal como lo confirma Gonzales & Jáuregui (2018) en su tesis titulada “Propuesta de mejora en el área de logística y mantenimiento para aumentar la rentabilidad en los servicios de la empresa FG GROUP IT S.A.C.” donde indica que “después de haber realizado el financiamiento del proyecto obtenemos un VAN positivo, eso nos demuestra que el proyecto es viable”.



## 4.2. Conclusiones

En la galería de la mina San Jorge se ha encontrado que la velocidad del aire mínima es de  $7.92 \text{ m}^3/\text{min}$  y que el caudal dentro de dicha galería por ventilación natural es de  $19.09 \text{ m}^3/\text{min}$  lo cual no abastece de la suficiente cantidad de aire a los trabajadores ya que se requiere caudales de aire de  $128.2 \text{ m}^3/\text{min}$  y de  $166.2 \text{ m}^3/\text{min}$  por lo que genera un mal ambiente laboral.

De acuerdo a las características de la galería de la mina San Jorge se obtuvo los parámetros necesarios para la utilización de la ley de Atkinson. Tales parámetros como el área promedio, el perímetro promedio, la longitud, el caudal total del aire, la densidad del aire y el coeficiente de fricción facilitaron la implementación de un sistema de ventilación.

Para el diseño del sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge el tipo de ventilador a utilizar debe ser axial de 7.5 hp con capacidad de 6000 CFM y de 3450 RPM. Este ventilador a colocar poseerá un motor trifásico, con un diámetro de 12 pulgadas y con un tamaño de carcasa de 440 x 725 mm. Se requerirá tres de estos ventiladores en dicha galería y que su ubicación sea de la siguiente forma: el primer ventilador ubicado en la bocamina, el segundo ventilador en el punto topográfico “J31” y el tercer ventilador en el punto topográfico “J56”.

Mediante el diseño del sistema de ventilación en la galería de la mina San Jorge se mejoraría en un 571.56% el caudal del aire desde la bocamina hasta el punto topográfico “J31” y en un 770.61% el caudal del aire desde el punto topográfico “J31” hasta el punto topográfico “J56”.

De acuerdo a las utilidades obtenidas de la mina San Jorge en el año 2020 el diseño del sistema de ventilación es viable tal como lo demuestra los valores de VAN por \$165,054.42 y el TIR por 235% con un plazo de recuperación de la inversión de 0.89 meses por lo que la implementación de dicho diseño no afectaría a la rentabilidad de la mina.

## REFERENCIAS

- Agüero, H. (2012). “*Influencia de la ventilación natural y mecánica en el diseño del sistema de ventilación de las galerías del nivel 195 mina calpa - arequipa*”. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica.
- Andrade, S. (2008). “*Guía metodológica de seguridad para ventilación de minas*”. Servicio Nacional de Geología y Minería. Recuperado del sitio web <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/12/200812GuiaVentilacionMinas.pdf>
- Castrejón, L. & Rodríguez, J. (2019). “*Influencia del sistema de ventilación en la rampa patrick - profundización entre los niveles 2,470 al 2,240 en una mina subterránea en pataz - la libertad 2018*”. Trujillo. UPN. Recuperado del sitio web. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21291/Castrejon%20Lopez%20Luis%20Ricardo%20-%20Rodriguez%20Marquina%20Juan%20Fernando.pdf?sequence=5>
- Chuquilín, E. & Intor, G. (2018). “*Análisis económico para el inicio de producción de óxido de calcio en la concesión Juan de Dios I, Cajamarca, 2018*”. Universidad Privada del Norte. Recuperado del sitio web. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14182/Chuquil%c3%adn%20Intor%20Eliza%20Marisol%20-%20Intor%20R%c3%ados%20Gladys%20Martha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CK foundation (2020). “*Presión y densidad de la atmósfera*”. Recuperado del sitio web <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espanol/section/7.3/primary/lesson/presi%C3%B3n-y-densidad-de-la-atm%C3%B3sfera/>
- Claverias, J. (2017). “*Evaluación y optimización de la ventilación en la mina Uchuchacua*”.

Huancayo: Universidad continental. Recuperado del sitio web.

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3857>

Coberturas plásticas (2020). Recuperador del sitio web. <https://www.coplastgroup.com/>

Condori, V. (2016). “*Optimización del sistema de ventilación con el software ventsim visual en la u.e.a. heraldos negros de la compañía minera san valentín s.a. – Huancavelica*”.

Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Recuperado del sitio web.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4229>

Convert Units. (2020). Recuperado del sitio web.

<https://www.convertunits.com/from/lb/ft3/to/kg/m3>

DuctSim. (2015). “*Manual del usuario*”. Recuperado del sitio web.

<https://www.yumpu.com/es/document/view/40924338/ductsim-manual-del-usuario-mine-ventilation-services-inc>

EndMemo. (2020). Recuperado del sitio web.

[http://www.endmemo.com/sconvert/kg\\_m3lb\\_ft3.php](http://www.endmemo.com/sconvert/kg_m3lb_ft3.php)

García, E. (2016). “*Evaluación de la situación actual del sistema de ventilación y propuesta para su optimización en mina subterránea carbonífera mi Grimaldina I -Cajamarca 2016*”. Trujillo: UPN. Recuperado del sitio web.

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/7582>

Gavidia, M. (2020). “*IGAFOM – Preventivo / Metálico*”. Ministerio de Energía y Minas. Trujillo. 2020.

Guillén, C. (2016). “*Optimización del sistema de ventilación aplicando tecnologías informáticas minera hemco – Nicaragua*”. Lima: UNI. Recuperado del sitio web.

<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3944>

Gonzales, C. & Jáuregui, E. (2018). “*Propuesta de mejora en el área de logística y mantenimiento para aumentar la rentabilidad en los servicios de la empresa fg group*”.

it s.a.c”. Universidad Privada del Norte. Recuperado del sitio web.

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14992/Gonzales%20Casta%20B1eda%20Cristhian%20Deywis%20-%20J%20A1uregui%20Rojas%20Esteban%20Andr%20A9s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Herramientas de ingeniería. (2019). Recuperado del sitio web.

<https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/altitud/altitud.html>

ISTEC. (2000). “*Ventilación avanzada*”. Pág. 29-30.

Jiménez, J. & Villarreal, S. (2014). “*Ventilación en minas subterráneas y circuitos de ventilación metálica*”. Universidad Nacional de Piura. Piura. Recuperado del sitio web.

<https://es.scribd.com/document/370813693/Mangas-de-Ventilacion>

Lanazca, L. (2015). “*Implementación del sistema de ventilación para controlar la polución en túneles del área 220 de la planta de cal – cdc, proyecto pachachaca*”. Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperado del sitio web.

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3627/Lanazca%20De%20La%20Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Llano, C. (2017). “*Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de minera SOTRAMI S.A. – UEA Santa Filomena – aplicando el software ventsim*”. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Recuperador del sitio Web

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3095/MIcally.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Medina, R. (2016). “*Fórmula de Atkinson*”. Recuperado del sitio web

<https://es.slideshare.net/ronalayala1/formula-de-atkinsn>

Mundo compresor. (2020). Recuperado del sitio web.

<https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/presion-barometrica>

Mundocompresor (2020). “Presión atmosférica”. Recuperado del sitio web

<https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/presion-atmosferica>

Naupari, A. (1986). “*Elaboración de proyectos mineros*”. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Recuperado del sitio web.

[http://biblioteca.unsaac.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8529&query\\_desc=au%3ANaupari%20Alvarez%2C%20Abraham%20and%20su-to%3APROYECTOS%20MINEROS%20-%20FACTIBILIDAD](http://biblioteca.unsaac.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8529&query_desc=au%3ANaupari%20Alvarez%2C%20Abraham%20and%20su-to%3APROYECTOS%20MINEROS%20-%20FACTIBILIDAD)

Positiva, S. (2017). “*Guía de seguridad para ventilación de minas subterráneas*”.

Recuperado del sitio web.

[https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23980938/010318\\_guia\\_seg\\_ventilacion\\_minas\\_subterraneas.pdf/52d1871d-37c0-45fe-9951-1b2adff92289](https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/23980938/010318_guia_seg_ventilacion_minas_subterraneas.pdf/52d1871d-37c0-45fe-9951-1b2adff92289)

Proser & Wallace. (1998). “*US Mine Ventilation Symposium*”. 8 edición.

Quispe, C. (2019). “*Ventilación de minas subterráneas natural y mecánica*”. Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado del sitio web.

[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/9886/Quispe\\_Caceres\\_Prudencio.pdf?sequence=6&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/9886/Quispe_Caceres_Prudencio.pdf?sequence=6&isAllowed=y)

Sánchez, V. (2004). “*Ventilación en la unidad minera de Uchucchacua*”. Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado del sitio web.

[https://minio2.123dok.com/dt02pdf/123dok\\_es/pdf/2020/08\\_07/2zjd911596795136.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=LB63ZNJ2Q66548XDC8M5%2F20210928%2F%2Fs3%2Faws4\\_request](https://minio2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/pdf/2020/08_07/2zjd911596795136.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=LB63ZNJ2Q66548XDC8M5%2F20210928%2F%2Fs3%2Faws4_request)

[&X-Amz-Date=20210928T122519Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=600&X-Amz-Signature=fb1b3fb58daed2abb3549084af2191e26e663f01d8736b96497d745d78f7b3](#)

[77](#)

Segura, L. (2017). “*Planos mineros*”. Universidad Andina del Cusco. Recuperado del sitio web. <https://es.slideshare.net/mmarggie/planos-mineros>

Siber (2020). “*Sistemas de ventilación*”. Recuperado del sitio web <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/sistemas-de-ventilacion-que-mantienen-constante-la-temperatura-ambiente/>

Soler, P. (2017). “*Pérdidas de carga en tuberías: ¿cómo afecta a un sistema de ventilación?*”. Recuperado del sitio web. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/perdidas-carga-tuberias-afecta-sistema-ventilacion/>

Soler, P. (2017). “*Optimización del caudal del aire*”. Recuperado del sitio web <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/caudal-de-aire-optimizacion/>

Soler, P. (2020). “*Ventilador axial*”. Recuperado del sitio web. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/>

Torres, J. (2017). “*Análisis de rentabilidad económica de los nuevos alojamientos turísticos regulados por el ministerio de turismo en el año 2015 para determinar el punto de equilibrio en puerto ayora – galápagos*”. Recuperado del sitio web. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10484/1/T-UCE-0004-TE004-2017.pdf>

Vélez, J. (2003). “*Evaluación de Coeficientes de Fricción en el Transporte de Fluidos No-Newtonianos*”. Scielo. Recuperado del sitio web [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642005000200012](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642005000200012)

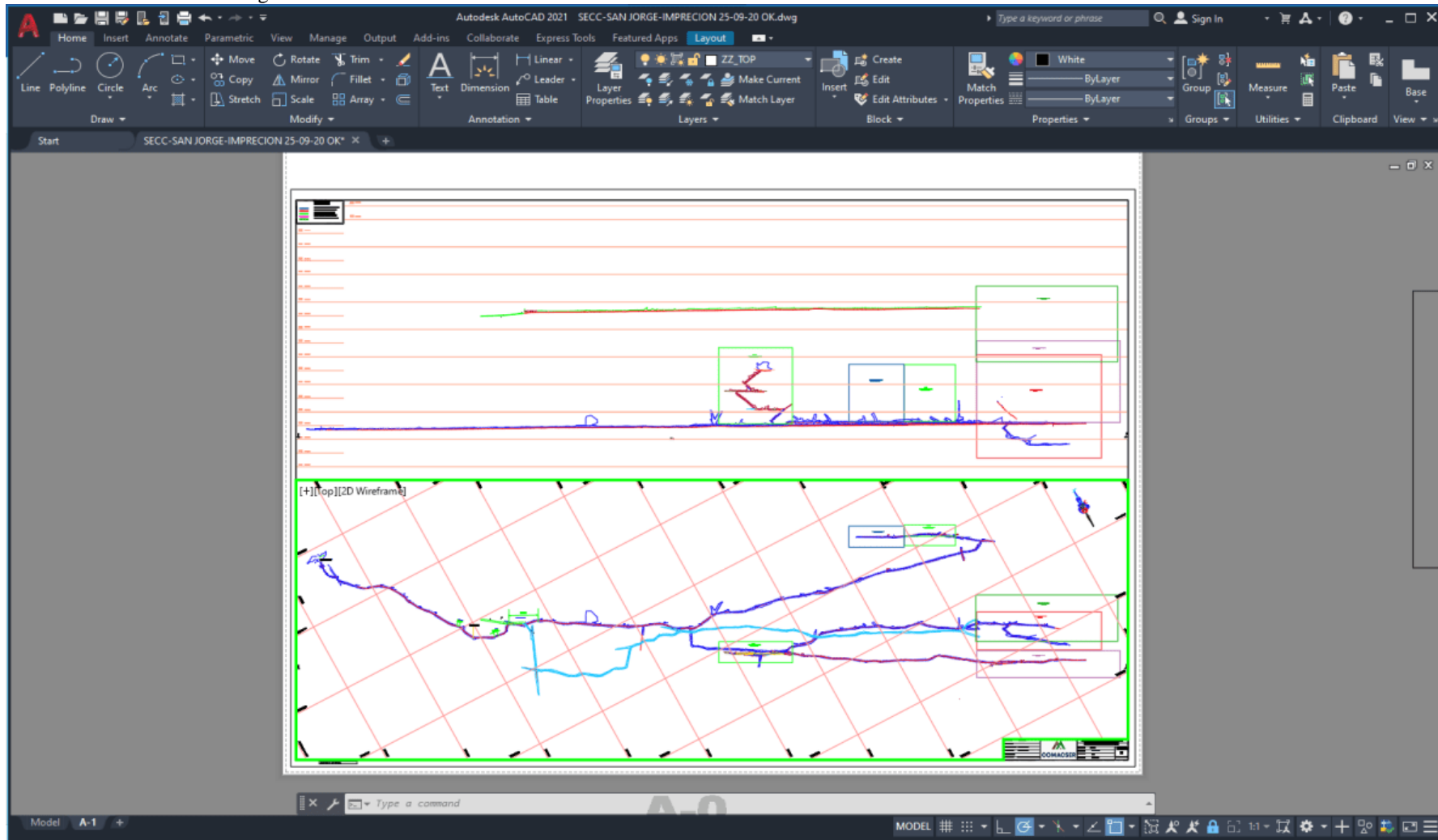
Vergaray, R. (2017). “*Optimización del sistema de ventilación de la mina Charito, Compañía*

*Minera Poderosa S.A.*”. Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado del sitio web.

<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10033/Vergaray%20Valle%2c%20Roy%20Marlon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

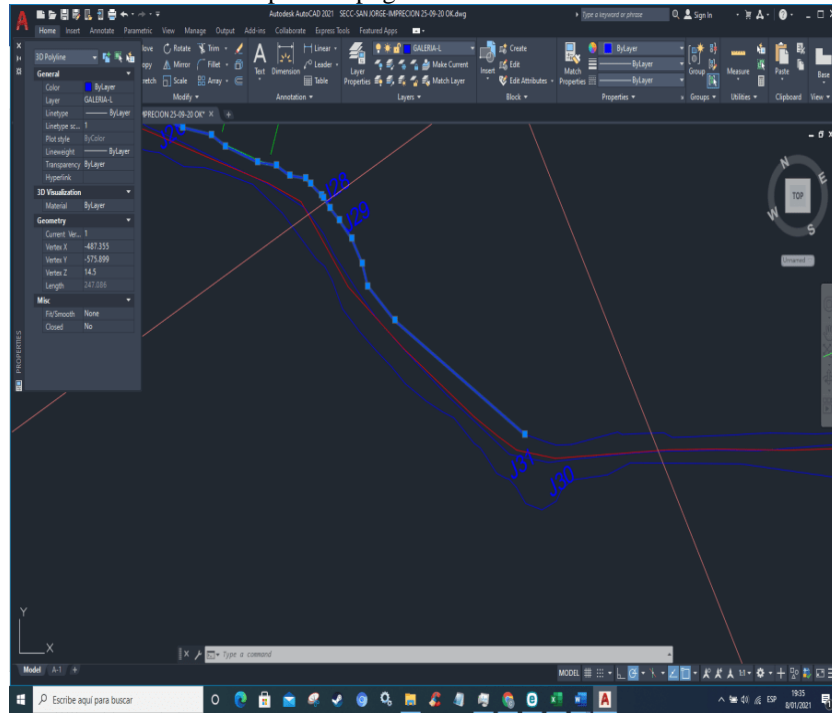
## ANEXOS

Anexo 1. Plano mina San Jorge

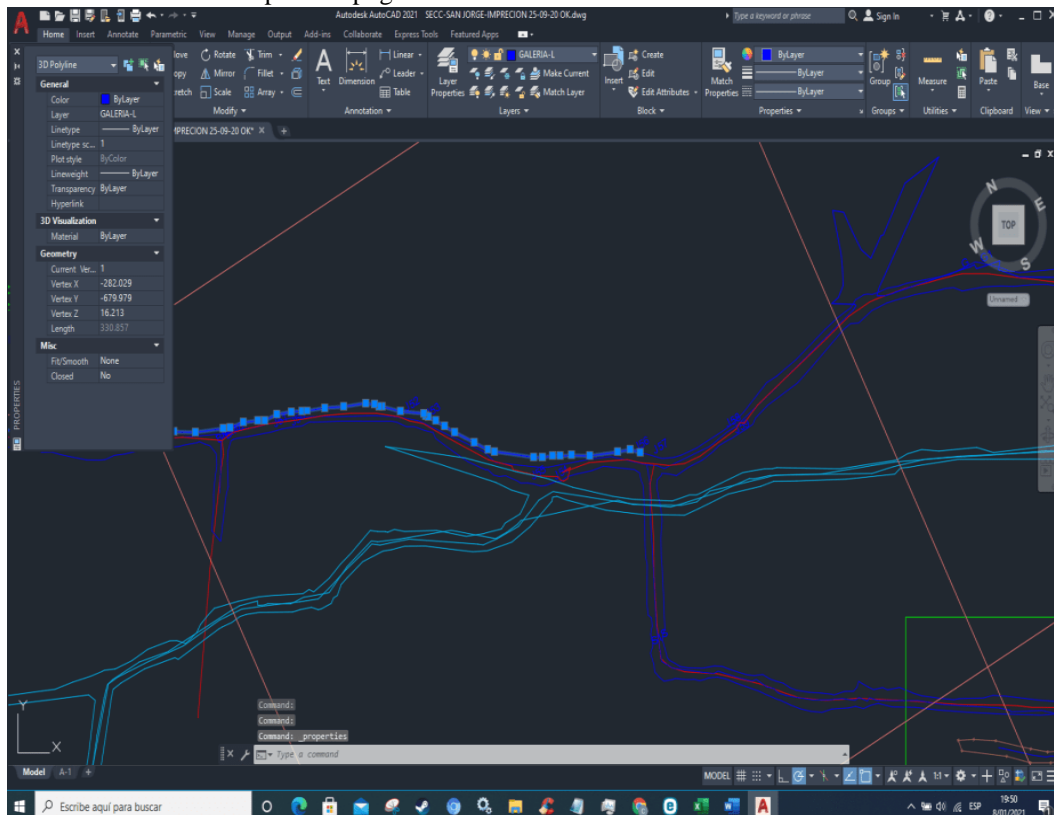




Anexo 3. Ubicación del punto topográfico "J31"




Anexo 2. Ubicación del punto topográfico "J56"



Anexo 4. Ubicación de la mina San Jorge referenciado desde la ubicación de Sayapullo



Anexo 5. Flujo de caja de la mina San Jorge en el año 2020

 <p style="text-align: center;">Flujo de caja de la mina San Jorge</p>												
Descripción	Inversión (\$)											
Ingresos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Cuentas por cobrar (venta por mineral)	US\$ 34200.00	US\$ 40320.00	US\$ 43550.00	US\$ 41400.00	US\$ 45500.00	US\$ 45880.00	US\$ 55380.00	US\$ 40950.00	US\$ 44020.00	US\$ 48100.00	US\$ 37800.00	US\$ 41600.00
<b>Total de ingresos (\$)</b>	US\$ 34200.00	US\$ 40320.00	US\$ 43550.00	US\$ 41400.00	US\$ 45500.00	US\$ 45880.00	US\$ 55380.00	US\$ 40950.00	US\$ 44020.00	US\$ 48100.00	US\$ 37800.00	US\$ 41600.00
Egresos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Trabajos Preliminares												
Exploración en mina	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00	US\$ 7000.00
Habilitación de accesos en mina	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00	US\$ 4500.00
Derecho de pase (Comunidad)	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00	US\$ 3000.00
Proyecto cierre de mina	US\$ 3200.00					US\$ 3200.00						
Mina												
Instalación de sistema de ventilación	US\$ 15000.00											
Mano de Obra (9% beneficios sociales)	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00	US\$ 746.00
Insumos	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00	US\$ 700.00
Muestreo, prueba de laboratorio	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00	US\$ 250.00
Estudio de Impacto ambiental	US\$ 2000.00					US\$ 2000.00						
Cierre de Mina	US\$ 800.00					US\$ 800.00						
Campamento												
Habilitación de campamento	US\$ 2000.00											
Mano de Obra (9% beneficios sociales)	US\$ 746.00											
Mano de obra y Transporte terrestre de mina	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00	US\$ 2000.00
Gastos Administrativos												
Tramites varios	US\$ 900.00											
Alquileres (oficina, varios)	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00	US\$ 800.00
<b>Total de egresos (\$)</b>	US\$ 43642.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 24996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00	US\$ 18996.00
<b>Saldo flujo de caja (\$)</b>	-US\$ 9442.00	US\$ 21324.00	US\$ 24554.00	US\$ 22404.00	US\$ 26504.00	US\$ 20884.00	US\$ 36384.00	US\$ 21954.00	US\$ 25024.00	US\$ 29104.00	US\$ 18804.00	US\$ 22604.00



Anexo 6. Campamento de la mina San Jorge



Anexo 7. Entrada a la mina San Jorge (Bocamina)



Anexo 8. Entrada a la mina San Jorge con su  
reglamento de seguridad




Anexo 9. Suministros del campamento de la mina  
San Jorge.




Anexo 10. Interior de la mina San Jorge





**Anexo 11. Medidas de ventilación en la galería de la mina San Jorge en los meses de enero, febrero y marzo del 2020**

		SISTEMA DE GESTION EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO			CODIGO	VERSION
		MEDIDAS DE VENTILACION			SGT-SG-20-En - FB- MR	1
		DATOS DE CAMPO			FECHA DE ENVIO	17/03/2020
FECHA	6/01/2020	AREA	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTOS	ANEMOMETRO DIGITAL 6252B	
LUGAR	MINA SAN JORGE	N° PERSONAL	20			
N°	PUNTO DE MEDICION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA %	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)	
1	J2	10 °C	29%	19.11	7.93	
2	J21	10 °C	31%	19.09	7.92	
3	J35	10 °C	31%	19.11	7.93	
4	J48	10 °C	34%	19.09	7.92	
5	J56	10 °C	33%	19.09	7.92	
FECHA	10/02/2020	AREA	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTOS	ANEMOMETRO DIGITAL 6252B	
LUGAR	MINA SAN JORGE	N° PERSONAL	20			
N°	PUNTO DE MEDICION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA %	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)	
1	J5	10 °C	28%	19.09	7.92	
2	J21	10 °C	31%	19.09	7.92	
3	J35	10 °C	29%	19.11	7.93	
4	J48	10 °C	32%	19.09	7.92	
5	J56	10 °C	33%	19.09	7.92	
FECHA	15/03/2020	AREA	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTOS	ANEMOMETRO DIGITAL 6252B	
LUGAR	MINA SAN JORGE	N° PERSONAL	20			
N°	PUNTO DE MEDICION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA %	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)	
1	J2	10 °C	34%	19.11	7.93	
2	J21	10 °C	31%	19.09	7.92	
3	J35	10 °C	33%	19.11	7.93	
4	J48	10 °C	36%	19.09	7.92	
5	J56	10 °C	33%	19.09	7.92	


Firma del supervisor: 


**Anexo 12. Medidas de ventilación en la galería de la mina San Jorge en los meses de abril, mayo y junio del 2020**

		SISTEMA DE GESTION EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO			CODIGO	VERSION
		MEDIDAS DE VENTILACION			SGT-SG-20-ABR - MY- JN	1
		DATOS DE CAMPO			FECHA DE ENVIO	8/05/2020
FECHA	2/04/2020	AREA	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTOS	ANEMOMETRO DIGITAL 6252B	
LUGAR	MINA SAN JORGE	N° PERSONAL	20			
N°	PUNTO DE MEDICION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA %	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)	
1	J4	10 °C	33%	19.11	7.93	
2	J24	10 °C	37%	19.11	7.93	
3	J30	10 °C	35%	19.11	7.93	
4	J45	10 °C	38%	19.11	7.93	
5	J56	10 °C	33%	19.09	7.92	
FECHA	8/05/2020	AREA	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTOS	ANEMOMETRO DIGITAL 6252B	
LUGAR	MINA SAN JORGE	N° PERSONAL	20			
N°	PUNTO DE MEDICION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA %	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)	
1	J2	10 °C	36%	19.09	7.92	
2	J17	10 °C	34%	19.09	7.92	
3	J29	10 °C	39%	19.11	7.93	
4	J41	10 °C	29%	19.09	7.92	
5	J56	10 °C	32%	19.11	7.93	
FECHA	7/06/2020	AREA	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTOS	ANEMOMETRO DIGITAL 6252B	
LUGAR	MINA SAN JORGE	N° PERSONAL	20			
N°	PUNTO DE MEDICION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA %	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)	
1	J3	10 °C	34%	19.11	7.93	
2	J19	10 °C	36%	19.09	7.92	
3	J26	10 °C	31%	19.09	7.92	
4	J36	10 °C	33%	19.09	7.92	
5	J56	10 °C	32%	19.09	7.92	


Firma del supervisor: 


**Anexo 13. Medidas de ventilación en la galería de la mina San Jorge en los meses de julio, agosto y septiembre del 2020**

 SISTEMA DE GESTION EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO				CODIGO	VERSION
				SGT-SG-20-JL- AG- ST	1
MEDIDAS DE VENTILACION DATOS DE CAMPO				FECHA DE ENVIO	5/08/2020
				MANTENIMIENTO	
FECHA	1/07/2020	AREA	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTOS	ANEMOMETRO DIGITAL 6252B
LUGAR	MINA SAN JORGE	Nº PERSONAL	20		
Nº	PUNTO DE MEDICION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA %	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)
1	J2	10 °C	34%	19.11	7.93
2	J18	10 °C	37%	19.11	7.93
3	J32	10 °C	34%	19.09	7.92
4	J48	10 °C	34%	19.09	7.92
5	J56	10 °C	33%	19.09	7.92
FECHA	5/08/2020	AREA	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTOS	ANEMOMETRO DIGITAL 6252B
LUGAR	MINA SAN JORGE	Nº PERSONAL	20		
Nº	PUNTO DE MEDICION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA %	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)
1	J3	10 °C	33%	19.11	7.93
2	J22	10 °C	39%	19.11	7.93
3	J27	10 °C	36%	19.11	7.93
4	J50	10 °C	35%	19.09	7.92
5	J56	10 °C	32%	19.09	7.92
FECHA	4/09/2020	AREA	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTOS	ANEMOMETRO DIGITAL 6252B
LUGAR	MINA SAN JORGE	Nº PERSONAL	20		
Nº	PUNTO DE MEDICION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA %	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)
1	J2	10 °C	36%	19.11	7.93
2	J20	10 °C	32%	19.09	7.92
3	J29	10 °C	39%	19.09	7.92
4	J39	10 °C	38%	19.09	7.92
5	J56	10 °C	36%	19.09	7.92

Firma del supervisor: 

**Anexo 14. Medidas de ventilación en la galería de la mina San Jorge en los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2020**

 SISTEMA DE GESTION EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO				CODIGO	VERSION
				SGT-SG-20-OCT - NV- DC	1
MEDIDAS DE VENTILACION DATOS DE CAMPO				FECHA DE ENVIO	4/12/2020
				MANTENIMIENTO	
FECHA	5/10/2020	AREA	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTOS	ANEMOMETRO DIGITAL 6252B
LUGAR	MINA SAN JORGE	Nº PERSONAL	20		
Nº	PUNTO DE MEDICION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA %	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)
1	J2	10 °C	35%	19.11	7.93
2	J22	10 °C	32%	19.11	7.93
3	J34	10 °C	35%	19.09	7.92
4	J41	10 °C	36%	19.09	7.92
5	J56	10 °C	34%	19.09	7.92
FECHA	4/11/2020	AREA	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTOS	ANEMOMETRO DIGITAL 6252B
LUGAR	MINA SAN JORGE	Nº PERSONAL	20		
Nº	PUNTO DE MEDICION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA %	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)
1	J3	10 °C	36%	19.11	7.93
2	J22	10 °C	31%	19.11	7.93
3	J27	10 °C	35%	19.11	7.93
4	J50	10 °C	31%	19.09	7.92
5	J56	10 °C	38%	19.09	7.92
FECHA	2/12/2020	AREA	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTOS	ANEMOMETRO DIGITAL 6252B
LUGAR	MINA SAN JORGE	Nº PERSONAL	20		
Nº	PUNTO DE MEDICION	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA %	CAUDAL (m3/min)	VELOCIDAD DEL AIRE (m3/min)
1	J3	10 °C	31%	19.11	7.93
2	J26	10 °C	34%	19.09	7.92
3	J30	10 °C	32%	19.09	7.92
4	J34	10 °C	35%	19.09	7.92
5	J56	10 °C	38%	19.09	7.92

Firma del supervisor: 



Anexo 15. Tramo para llegar a la mina San Jorge



Anexo 16. IGAFOM de la mina San Jorge donde se encuentra la ubicación por coordenadas de la bocamina de esta mina.

C: IGAFOM – PREVENTIVO/METÁLICA	
Condición: Productor Minero Artesanal - PMA y Pequeño Productor Minero - PPM	Método de Explotación SUBTERRANEA, CIELO ABIERTO O PLACERES AURIFEROS

b. Componentes principales:

Describir cada uno de los componentes principales que se tiene planificado aperturar (Pique, chimenea, galería, cortado, crucero, inclinado, botadero de desmonte, polvarín, etc.), respecto de su diseño (dimensiones, etc.), asimismo indicar la ubicación geográfica en sistema de coordenadas UTM DATUM WGS 84 precisando la zona (17S, 18S o 19S).

Ítem	Componente Principal	UTM WGS 84 Zona 17 M	
		Norte	Este
1	Bocamina	9158880	0778156
...	...	...	...

c. Componentes auxiliares:

Ítem	Componente Auxiliar	UTM WGS 84 Zona 17	
		Norte	Este
1	Comparto y comedor	9158869	0778199
2	SSH	9158861	0778211

d. Diagrama de flujo del ciclo de minado:

Indicar el diagrama correspondiente (Perforación, voladura, ventilación, sostenimiento, acarreo, limpieza y transporte).



Anexo 17. Carta laboral con la autorización de los datos de la mina artesanal San Jorge  
en el año 2020



Sayapullo 01 de diciembre del 2020

A quien pueda interesar:

Reciba un cordial y respetuoso saludo. A través de estas líneas deseo hacer de su conocimiento que el Sr. Christian Ramírez Neyra con DNI 76057823, quien practicó en la Mina San Jorge - Sayapullo durante 06 meses junio a diciembre del 2020, es un profesional con una conducta intachable. Ha demostrado ser un excelente profesional y un gran trabajador, comprometido, responsable y fiel cumplidor de sus tareas. Siempre ha manifestado preocupación por mejorar, capacitarse y actualizar sus conocimientos.

Durante ese tiempo se ha desempeñado como: auxiliar, encargado del programa de ventilación de la mina. Es por ello que, le sugiero considere esta recomendación, con la confianza de que estará siempre a la altura de sus compromisos y responsabilidades.

Así mismo concedemos la autorización de continuar la investigación de la mejora de la ventilación.

Sin más nada a que referirme y, esperando que esta misiva sea tomada en cuenta, dejo mi número de contacto para cualquier información de interés.

Atentamente,



Msc. Ing. Ricardo Saavedra Zapata  
Ing. De minas  
CIP 60808

Anexo 18. Especificaciones técnicas del ventilador axial

**COTIZACION**  
**VENTILADORES 03 ETAPAS**  
**No.01205-0501-2022**

ESTIMADO : ING. CHRISTIAN RAMIREZ NEYRA

DE : Nepolo Fabricantes S.A.C

REFERENCIA: Estimados señores mediante la presente nos es grato saludarlos y a la vez hacerles llegar la siguiente cotización:

**VENTILADORES LISTOS ENTREGA INMEDIATA**

1.- **VENTILADOR MINERO AXIAL DE ALETAS AERODINAMICAS Y PASO VARIABLE DE 5 000 CFM**

CANTIDAD	03
MODELO	VAV – 18 - 14 – 3450 II
TIPO	JOY
PRESION DE AIRE	9.5 a 4,200 m.s.n.m
NIVEL DE RUIDO	110 Db (A)
CAUDAL DEL AIRE	<b>6000 CFM</b>
MOTOR TRIFASICO	7.5 HP 3450 RPM / 440v
MARCA MOTOR	DELCROSA
TRANSMISION	ESTRELLA TRIANGULO

**El equipo incluye:**

- Cono de succión desmontable aerodinámico para mejor eficiencia y reducir nivel de ruido.
- Rueda directriz alineadora de flujo.
- Pies de montaje con refuerzo desmontables para anclaje en plataformas.
- Caja de conexiones exterior (no obstructivo al flujo).
- Sellado de caja bornera del motor para protección de polvo y otros contaminantes.
- Balanceo dinámico electrónico.
- Malla protectora desmontable con brida parte posterior.
- Reduccion de manga a 18 pulgadas o 16 según lo requiera eso se prepara en 02 días útiles.

Anexo 19. Especificaciones técnicas de la manga de ventilación

**MEMBRANAS LAMINADO POLYTARP**

**RECUBIERTO SJ200**

**DESCRIPCION**

Es una "tela técnica" consistente en un tejido de laminillas de polietileno de alta densidad (rafia) en estructura tafeta, recubierta por ambos lados con películas continuas de polietileno de baja densidad mediante un proceso térmico.

**Tejido.** - Laminillas de polietileno de 1,000 deniers. Densidad: 14 x 14 hilos por pulgada (entrama y en urdimbre).

**Recubrimiento.** - Películas de polietileno de 0.05 mm. en ambos lados, aditivadas para resistir radiación UV (3%).

**CARACTERISTICAS TECNICAS DEL PRODUCTO**

- Superficie	: lisa, sin grabado
- Espesor	: 0.30 mm. (300 micras)
- Peso	: 200 gr/m <sup>2</sup>
- Resistencia a la Tensión	: 85 kg/5cm.
- Resistencia al desgarre	: 15 kg.
- Resistencia al frío	: -10 °C
- Resistencia al calor	: +50°C
- Resistencia a radiación UV	: 3% de aditivo
- Resistencia a agentes químicos (ácidos, álcalis, sales):	No se afecta
- Impermeabilidad	: 100%
- Microorganismos	: anti-hongos
- Flamabilidad	: retardante
- UNION PEGA PEGA	CINTRA VELCRO 12 PULG. ANCHO
- OJALILLOS	CIRCULARES
- OJALILLOS	CADA 100 CM

**DURABILIDAD**

- 1 año en continuo movimiento
- 1.5 años a más en posición fija

Anexo 20. Matriz de operacionalidad de variables

<b>TÍTULO: SISTEMA DE VENTILACIÓN EN EL NIVEL 2735 – ATKINSON DE LA MINA SAN JORGE – SAYAPULLO – LA LIBERTAD 2020</b>					
<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTO</b>
Ventilación en el nivel 2735 de la mina San Jorge	Método por el cual se abastecerá de aire a las galerías de las labores del nivel 2735 (msnm).	Realizando los cálculos con la toma de datos en situó. Evaluando los parámetros fundamentales para una buena ventilación.	Ley de Atkinson. Tipos de ventiladores aimplementar. Cantidad y ubicación de ventiladores.	Análisis documentario. Data de campo (de mina).	Herramientas de APP / Microsoft Wincha. Escalímetro. Cálculo

Anexo 21. Matriz de consistencia

<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>					
<b>PROBLEMA</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>VARIABLE</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b>
¿De qué manera se podría mejorar la ventilación natural en el nivel 2735 de la mina San Jorge – Sayapullo – La Libertad?	Al diseñar un sistema de ventilación podría mejorar las condiciones de la ventilación en el nivel 2735 de la mina San Jorge, aunque si dicho diseño está mal planteado podría empeorarlo	<b>GENERAL:</b> Diseñar un sistema de ventilación bajo la ley de Atkinson en el nivel 2735 de la mina SanJorge - Sayapullo – La Libertad.	<b>VARIABLE:</b> Ventilación en el nivel 2735 de la mina San Jorge	Enfoque: Cuantitativo. Diseño: Descriptivo simple. Tipo de investigación: no experimental Métodos: Descriptivo. Inductivo - deductivo Técnicas: Observación directa y uso de equipos de medición Instrumentos: Análisis documentario. Data de campo (mina). Entrevista al personal de trabajo  Procedimiento: Uso de la ley de Atkinson.	<b>POBLACIÓN:</b> La galería de la mina San Jorge.
		<b>ESPECÍFICOS:</b> Lo primero a realizar será analizar la problemática de la ventilación en la galería de dicha mina. Luego de ello, se determinará los parámetros necesarios para el diseño del sistema de ventilación utilizando la Ley de Atkinson. Ya determinado dichos parámetros se procederá a utilizarlos para diseñar el sistema de ventilación. Una vez obtenido el diseño de ventilación se comparará la demanda de aire que se tenía al principio mediante la ventilación natural con la demanda de aire mediante el diseño del sistema de ventilación para evaluar si dicho sistema mejoraría el flujo de aire dentro de la galería minera. Finalmente realizará un análisis económico del sistema de ventilación utilizando los valores de VAN y TIR para determinar si el sistema de ventilación es rentable.			<b>MUESTRA:</b> La muestra está conformada por el nivel 2735.