



# Universidad Nacional del Centro del Perú

Facultad de Ingeniería de Minas

## Incremento de capacidad de ventilación en zonas de Cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.

Lozano Soto, Paul Angel

**Huancayo  
2019**



Esta obra está bajo licencia  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>  
Repositorio Institucional - UNCP

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**



**TESIS:**

**INCREMENTO DE CAPACIDAD DE  
VENTILACION EN ZONAS DE CUERPOS  
EN CIA MINERA CASAPALCA S.A.**

**PRESENTADA POR EL BACHILLER:**

**PAUL ANGEL LOZANO SOTO**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO DE MINAS**

**HUANCAYO – PERU**

**2019**

**ASESOR:**

**Dr. ORISON DELZO SALOME**

**DEDICATORIA**

Con un cariño inmenso a mi madre Gloria y mi padre Ernesto por el amor, esfuerzo, sacrificio y por todo su apoyo recibido que hicieron posible continuar con mi desarrollo profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

De manera sincera quiero expresar mi agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas de la UNCP por brindarme sus conocimientos y sabiduría brindados.

De manera especial quiero agradecer a mi asesor Dr. Orison Delzo Salome, por su sabiduría transmitida para el desarrollo de este trabajo de investigación.

De manera precisa, quiero agradecer a los ingenieros y trabajadores de la Cia Minera Casapalca S.A. por darme la oportunidad de trabajar con ellos y por facilitarme el acceso a sus instalaciones para el recojo de la información necesaria para concluiré este trabajo de investigación.

Finalmente quiero expresar mi agradecimiento a todos mis amigos de carpeta de la FAIM, por compartir gratos momentos de la vida.

## RESUMEN

Este estudio se realizó en la Compañía Minera Casapalca S.A. que está ubicado en el distrito de Chicla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima, que está a una altura promedio de 4 200 msnm. Tiene una producción de mina de 5 000 TMD, produciendo concentrados de zinc, plomo y cobre con contenidos de plata como sub-producto en los concentrados de plomo y cobre.

Esta mina subterránea está compuesta por tres zonas: Cuerpos, Esperanza y la Oroya, donde la producción diaria de mineral depende de un: 79%, 8% y 13% respectivamente. Y requiere un caudal diario de aire fresco de 1 015 113 cfm, teniendo actualmente un ingreso de aire fresco de 538009 cfm y una salida de aire viciado de 569 543 cfm que solo representa una cobertura de solo el 53% del aire requerido.

Ante esta situación se efectuó este estudio que tuvo como objeto realizar un plan de mejoramiento de ventilación en zona de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A. debido más que todo que en este sector está concentrado la producción diaria de mineral en un 79%, y requiere para cumplir esta producción de un conjunto de equipos diésel como Jumbos, scooptrans, volquetes, entre otros equipos.

Para cubrir este déficit de aire se tuvo que hacer un estudio de la cantidad de aire que se necesita, haciendo un balance de materia entre la cantidad de aire que ingresa y lo que egresa. Para superar esta dificultad se planteó la construcción de un RB 02 desde superficie hasta el nivel 10, en una longitud de 502,4 m y tendrá un diámetro de 3,6 m, con lo que se logrará una cobertura de 97%.

Palabra clave: Optimización de ventilación, Raise Boring.

## ABSTRACT

This study was carried out at Compañía Minera Casapalca S.A. which is located in the district of Clica. Province of Huarochiri, department of Lima, which is at an average height of 4 200 meters above sea level. It has a mine output of 5,000 TMD, producing zinc, lead and copper concentrates with silver contents as a by-product in lead and copper concentrates.

This underground mine is composed of three areas: Bodies, Esperanza and Oroya, where the daily production of ore depends on: 79%, 8% and 13% respectively. And it requires a daily flow of fresh air of 1 015 113 cfm, currently having a fresh air intake of 535 443 cfm and a stale air outlet of 569 543 cfm that only represents a coverage of only 53% of the required air.

Given this situation, a study was carried out that aimed to carry out a plan to improve ventilation in the area of bodies in Cia Minera Casapalca S.A. due more than anything that in this sector the daily production of ore is concentrated in 79%, and requires to meet this production of a set of diesel equipment such as Jumbos, scooptrans, dump trucks, among other equipment. To cover this air deficit, a study was made of the amount of air needed, making a balance of matter between the amount of air entering and what is exiting. To overcome this difficulty, the construction of a RB 02 from surface to level 10 was proposed, with a length of 502.4 m and a diameter of 3.6 m, with a coverage of 97%.

**Keywords:** Ventilation optimization, Raise Boring.

## INDICE

Caratula	i
Asesor	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Índice	vii
Introducción	xiii

## CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Fundamentación del problema.....	1
1.2	Formulación del problema.....	5
1.2.1	Problema general.....	5
1.2.2	Problemas específicos.....	5
1.3	Objetivos .....	6
1.3.1	Objetivo general.....	6
1.3.2	Objetivo específico.....	6
1.4	Justificación.....	6
1.5	Alcances y limitaciones.....	8
1.5.1	Alcances.....	8
1.5.2	Limitaciones.....	8

## CAPITULO II MARCO TEORICO

2.1	Antecedentes del estudio.....	10
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	10
2.1.2	Antecedentes nacionales.....	12
2.2	Bases teóricas.....	15
2.2.1	Cálculo del requerimiento de aire- Anexo 38.....	15
	A. Requerimiento de aire total (QTo).....	15
2.2.2	Diseño de red de ventilación.....	23
	A. Concepto de caudal.....	23
	B. Resistencia aerodinámica.....	24
	C. Coeficiente de forma de labor minera.....	25
	D. Determinación de la resistencia aerodinámica de una labor.....	25
	E. Determinación de la red de ventilación.....	26
	F. Ventilación principal.....	27
	G. Ventilación auxiliar.....	29
	H. Calculo de aforo de ventilación.....	30
2.2.3	Leyes de Kirchhoff.....	31
	A. Primera ley.....	31
	B. Segunda ley.....	31



2.2.4	Circuitos de ventilación en serie y paralelo.....	31
	A. Circuito de ventilación en serie.....	31
	B. Circuito de ventilación en paralelo.....	32
2.2.5	Método de Hardy Cross.....	32
2.2.6	Ventilación natural.....	34
2.3	Compañía Minera Casapalca S.A.....	35
2.3.1	Ubicación .....	35
2.3.2	Acceso.....	35
2.3.3	Historia.....	36
2.3.4	Geomorfología.....	36
2.3.5	Clima.....	37
2.3.6	Estratigrafía.....	37
2.3.7	Rocas sedimentarias.....	37
	A. Mesozoico.....	37
	B. Cenozoico.....	38
2.3.8	Rocas intrusivas.....	38
2.3.9	Plegamiento y fracturamiento.....	39
2.3.10	Geología económica.....	39
	A. Tipo de depósito de minerales.....	39
2.3.11	Mineralogía y paragénesis.....	41
2.3.12	Alteración hidrotermal.....	41
2.3.13	Reservas de mineral de Cia Minera Casapalca S.A.....	42
2.3.14	Método de Sublevel Stopping con taladros largos.....	42
	A. Perforación.....	42
	B. Voladura.....	43
	C. Limpieza.....	43
	D. Relleno.....	43
	E. Transporte.....	43
2.4	Definición de términos.....	44
2.5	Hipótesis .....	46
2.4.1	Hipótesis general.....	46
2.4.2	Hipótesis específica.....	47
2.6	Variables e indicadores.....	47
2.6.1	Tipo de variables.....	47
2.6.2	Operacionalización de las variables.....	47

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGIA DE INVESTIGACION**

3.1	Tipo de investigación.....	49
3.2	Nivel de investigación.....	49
3.3	Método de investigación.....	49
3.4	Diseño de investigación.....	50
3.5	Población y muestra.....	50
	3.5.1 Población.....	50
	3.5.2 Muestra.....	50
3.6	Procedimiento de recolección de datos.....	50

3.6.1	Técnicas de recolección.....	50
3.6.2	Instrumentos de recolección.....	51
3.7	Técnicas de procesamiento de datos.....	51

## **CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSION**

4.1	Presentación de los datos generales.....	52
4.1.1	Sistema de ventilación de Cia Minera Casapalca S.A.....	52
4.1.2	Balance de ventilación.....	57
4.1.3	Ingreso de aire fresco a mina.....	59
4.1.4	Salida de aire viciado de mina.....	62
4.1.5	Requerimiento de aire total.....	66
4.1.6	Planeamiento de ventilación.....	67
4.2	Análisis e interpretación de los datos.....	65
4.2.1	Parámetros de operación de ventiladores principales actuales y propuestos.	75
	A. RB 131 (superficie).....	75
	B. RB 593.....	76
	C. Proyecto RB 01 (diámetro de 8').....	77
	D. Proyecto RB 02 (diámetro de 12').....	78
4.2.2	Cobertura estimada.....	78
4.2.3	Presupuesto en equipos, montaje electromecánico y civil.....	79
4.2.4	Construcción de chimenea con raise boring.....	80
4.3	Prueba de hipótesis.....	82
4.3.1	Prueba de la hipótesis general.....	82
4.3.2	Prueba de las hipótesis específicas.....	82
	A. Contrastación de la primera hipótesis específica.....	83
	B. Contrastación de la segunda hipótesis específica.....	83
	C. Contrastación de la tercera hipótesis específica.....	83
	D. Contrastación de la cuarta hipótesis específica.....	84
4.4	Discusión de los resultados.....	84
	CONCLUSIONES .....	86
	RECOMENDACIONES .....	87
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	88
	ANEXOS .....	91

## LISTA DE TABLAS

		Pag.
Tabla 1.	Aire que ingresa a zona de cuerpos, según levantamiento a enero de 2019..	7
Tabla 2.	Factor de producción de acuerdo al consumo de madera.....	16
Tabla 3.	Factor de temperatura.....	17
Tabla 4.	Composición del aire en % de volumen y peso.....	18
Tabla 5.	Clasificación de los gases en minas subterráneas.....	18
Tabla 6.	Efectos fisiológicos del CO.....	19
Tabla 7.	Efectos fisiológicos del hidrogeno sulfurado.....	20
Tabla 8.	Efectos fisiológicos del dióxido de nitrógeno.....	21
Tabla 9.	Efectos fisiológicos del anhídrido sulfuroso.....	22
Tabla 10.	Efectos fisiológicos del anhídrido carbónico.....	23
Tabla 11.	Reserva de minera de Cia Minera Casapalca S.A. al 31 de diciembre de 2018	42
Tabla 12.	Operacionalización de variables.....	47
Tabla 13.	Recolección de información para ventilación por estación de medición.....	50
Tabla 14.	Características de los ventiladores instalados en la actualidad.....	51
Tabla 15.	Simulación de ventilación natural.....	51
Tabla 16.	Requerimiento actual de aire de CMCSA.....	53
Tabla 17.	Balance de aire al 31 de julio de 2019.....	58
Tabla 18.	Requerimiento de caudal de aire en las tres zonas a julio de 2019.....	58
Tabla 19.	Levantamiento de ventilación al 31 de julio de 2019.....	59
Tabla 20.	Levantamiento de salida de aire viciado a julio de 2019.....	62
Tabla 21.	Balance total de aire a julio der 2019.....	67
Tabla 22.	Producción de mineral por sectores.....	68
Tabla 23.	Porcentaje de participación por zona.....	68
Tabla 24.	Requerimiento de ventilación por sectores.....	69
Tabla 25.	Proyección de ingreso y salida de aire, resumen de la red del sistema.....	69
Tabla 26.	Requerimiento de flujo de aire para Cuerpos.....	70
Tabla 27.	Requerimiento de flujo de aire por zonas del sector cuerpos.....	70
Tabla 28.	Características técnicas del ventilador axial a adquirir.....	74
Tabla 29.	Balance de aire proyectado.....	78
Tabla 30.	Estimación del presupuesto para esta mejora de ventilación.....	79
Tabla 31.	Características básicas de Chimenea RB 02.....	80
Tabla 32.	Características técnicas del SBM 800.....	80
Tabla 33.	Costo total por una chimenea de 3,6 m de Ø x 502,4 m de longitud x 80° ...	81
Tabla 34.	Costo total de implementación de mejora de ventilación.....	81

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
<i>Figura 1.</i> Resistencia diagonal .....	26
<i>Figura 2.</i> Ventilador centrífugo.....	28
<i>Figura 3.</i> Ventilador axial.....	29
<i>Figura 4.</i> Curva característica de ventiladores.....	29
<i>Figura 5.</i> Sistemas de ventilación auxiliar.....	30
<i>Figura 6.</i> Primera ley de Kirchhoff.....	31
<i>Figura 7.</i> Segunda ley de Kirchhoff.....	31
<i>Figura 8.</i> Circuito en serie.....	31
<i>Figura 9.</i> Circuito de ventilación en paralelo.....	32
<i>Figura 10.</i> Malla de circulación de aire.....	34
<i>Figura 11.</i> Recorrido del aire en ventilación natural.....	34
<i>Figura 12.</i> Isométrico de ventilación a julio 2019 de CMCSA.....	52
<i>Figura 13.</i> Isométrico de ventilación de la zona cuerpos a julio 2019 de CMCSA....	53
<i>Figura 14.</i> BM túnel Potosí cruceo 800 de CMCSA.....	54
<i>Figura 15.</i> BM túnel Potosí II de CMCSA.....	55
<i>Figura 16.</i> Ubicación de los ventiladores de 60 000 cfm, Nv. 13 CMCSA.....	55
<i>Figura 17.</i> Ventiladores secundarios de 60 000 cfm instalados en paralelo en XC 543 SE.....	56
<i>Figura 18.</i> Ventilador principal de 150 000 cfm en RB 593 Y RB 600 de CMCSA...	56
<i>Figura 19.</i> Ingreso al XC 270 NW del nivel 18 de CMCSA.....	57
<i>Figura 20.</i> Medición en los túneles Alfa y Omega y XC 040 NE de CMCSA.....	57
<i>Figura 21.</i> BM Alex I de CMCSA.....	60
<i>Figura 22.</i> Calculo de la velocidad en Alex I de CMCSA.....	60
<i>Figura 23.</i> BM Potosí I de CMCSA.....	61
<i>Figura 24.</i> BM Nv. 435 (Esperanza).....	61
<i>Figura 25.</i> BM Nv. 480 (Esperanza) de CMCSA.....	62
<i>Figura 26.</i> BM Nv. 435 (Oroya) de CMCSA.....	62
<i>Figura 27.</i> Ventilador principal COD 109. 110 RB 131 de CMCSA.....	64
<i>Figura 28.</i> Presión estática, ventilador COD 109 de CMCSA.....	64
<i>Figura 29.</i> Ventiladores principales COD 100 de CMCSA.....	65
<i>Figura 30.</i> Presión estática, ventilador COD 100 de CMCSA.....	66
<i>Figura 31.</i> Isométrico de ventilación de cuerpos de CMCSA.....	71
<i>Figura 32.</i> Ubicación del proyecto RB 01 de CMCSA.....	72
<i>Figura 33.</i> Ubicación del proyecto RB 02 en CMCSA.....	73
<i>Figura 34.</i> Ampliación de XC 270NW, nivel 18 Zona de Cuerpos de CMCSA.....	74
<i>Figura 35.</i> Ubicación de proyecto RB actual y proyectados RB 01 y RB 02 de CMCSA.....	75
<i>Figura 36.</i> Parámetros de operación estimada VAV 150 000 cfm.....	76
<i>Figura 37.</i> Parámetros de operación estimada ventilador principal, capacidad 60 000 cfm.....	77
<i>Figura 38.</i> Parámetros de operación estimada ventilador 100, capacidad 150 000 cfm.....	77

*Figura 39.* Parámetros de operación estimada ventilador 100, capacidad 150 000  
cfm..... 78

## INTRODUCCION

El presente estudio se realizó en el sector Cuerpos de CMCSA debido a que había una carencia de aire fresco, que originaba la recirculación del aire viciado por las labores lo que producía el incremento de la temperatura de la zona de trabajo por encima a lo exigido por el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 024-2016-EM y su Modificatoria D.S. N° 023-2017-EM, que exige al titular minero de suministrar aire limpio a las labores mineras de acuerdo a las necesidades de operación; así mismo, se observó el incremento de los niveles de gases como el monóxido y hollín producto de la combustión incompleta de los equipos diésel empleados en la operación, los cuales ponen en peligro la salud de los trabajadores, ya que a ser inhalados pudieran producir la asfixia, pues la presencia en concentraciones relativamente altas del CO originaría la muerte de los mismos, debido a que este se combina reversiblemente con la hemoglobina de la sangre.

Por lo mencionado, este estudio es de suma importancia para CMCSA debido a que es necesario incrementar el ingreso de aire fresco de 53% hasta un 97%, con lo que se cumpliría el reglamento de minería.

Por eso se planteó como hipótesis de trabajo, el mejoramiento de la capacidad de ventilación en zona cuerpos de Cia Minera Casapalca S.A. para octubre del presente año. Para ello es necesario construir un nuevo RB 02 de 3,6 m de diámetro desde superficie hasta el nivel 10 en una longitud de 502,4 m con un ángulo de inclinación de 80° con respecto a la horizontal. Así mismo es necesario adquirir e instalar un nuevo ventilador de una capacidad de 350 000 cfm; también es necesario la reubicación de los actuales ventiladores con el cual se lograría una cobertura de 97%.

El autor.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Fundamentación del problema**

Según el Banco de Crédito del Perú (BCP), el crecimiento económico del Perú habría crecido menos del 2,5% el primer trimestre de 2019 luego de crecer en 4,6% el último trimestre de 2018, resultado que está debajo de 3,8% de lo esperado por la mayoría de especialistas.

Esta desaceleración económica se debe a la contracción de sectores primarios y a la baja inversión del estado e influenciado negativamente por los sectores no primarios de nuestra patria. Entre los meses de enero y marzo de este año, sectores como pesca, minería y manufactura retrocedieron en 23%, 3,7% y 20,4% respectivamente, cayendo la inversión estatal en 7,3% y disminuyendo la inversión no primaria en 3,2% el primer trimestre del 2019.

Este bajo dinamismo de la economía peruana continua en el mes de abril. La generación de energía eléctrica creció solo en 2,7%, la más baja de los últimos nueve meses. Según BCP, es poco probable que la inversión pública crezca y espera para fines del 2019 solo tengamos crecimiento económico cercanos al 2,7%, cifras bajas comparadas al mismo mes del 2018 donde se creció en 5,4%.

Por otro lado, para fines de abril el precio del oro había descendido a niveles de hace cuatro meses por la mejoría del dólar americano y por la fortaleza de la economía de los EE.UU.

Así mismo, la firmeza de las acciones del primer trimestre del 2019 ha impactado en el precio del oro, según manifiesta en el diario Gestión, que el precio del oro ha descendido en cerca del 5% del precio máximo alcanzado en el mes de febrero. Otros metales como la plata que subió a US \$15,02 por onza, que representa un incremento este año de 0,6%. El mismo diario señala, que el precio del cobre se viene recuperando por las expectativas del acuerdo comercial entre los EE.UU. y China y por la mejora del crecimiento económico chino, que permitió llegar a fines de abril, en US\$ 6 466 la TM en la Bolsa de Metales de Londres, que significa un 0,6%; de igual modo el plomo avanza hasta US\$ 1873,5 que representa un incremento de 0,4%, de la misma manera, el zinc llega en promedio a US\$ 2 757,5 la TM que representa una subida de 0,5% en este primer trimestre.

De igual modo, el tipo de cambio del dólar registró una subida de 1,34% en lo que va de 2019 que representa US\$ 3,305, frente a al 2018, debido principalmente a la demanda de dólares en el sistema bancario peruano y al alza global del dólar americano.

Por otro lado, Cia Minera Casapalca S.A. (CMCSA) ubicada en la sierra de Lima y a unos 4 350 metros sobre el nivel del mar, produce diariamente 5 000 TM de mineral obtenida de sus tres zonas de trabajo: Cuerpos (79%), Oroya (13%) y Esperanza (8%).

La estructura principal de Casapalca lo constituye la zona cuerpos, donde esta ubicada más del 75% de las reservas explotables y se encuentran ahí los piques: Paty, 650 y 790, y está desarrollada en ella 18 niveles de producción, espaciados en promedio cada 50 m, en los que se



emplean mayormente el método de explotación de Sublevel Stopping mecanizado, utilizando equipos diésel en sus operaciones unitarias diversas.

La zona de cuerpos, está dividida en tres zonas: alta, intermedia y baja, los cuales se caracterizan por tener buenas cajas encajonantes.

Las necesidades de aire para la ventilación de las labores subterráneas en la zona cuerpos a fines de abril de 2019 de CMCSA es de 799 457cfm distribuidos en sus tres zonas, y representa una cobertura de 53%.

La zona alta que tiene una producción de mineral mensual de 30 500 TM comprende los niveles: 200, 300, 400, 600, 700, 1A y 4A, y requieren cubrir una demanda de aire en el sistema de ventilación principal de 185 402 cfm. En esta zona de producción de mineral, el aire ingresa principalmente por el BM Alex I, BM Alex II y BM Nv. 600 generado por la succión de aire de los ventiladores 100, 109 y 110. Esta zona, la extracción del aire viciado no cuenta con un circuito de extracción independiente a superficie, lo que compromete la extracción del aire contaminado de las otras dos zonas de producción.

La zona intermedia comprende los niveles desde el 5 al 9A, constituye fundamentalmente en recuperación del mineral y tiene una necesidad actualidad en el sistema de ventilación principal de 286 124 cfm de aire. El ingreso a esta zona, es por: BM Alex I, Alex II, Potosí y BM Nv. 600 generado por la succión de los ventiladores 100, 109 y 110. El ventilador principal es el 100 que origina 150 000 cfm y está instalado en la cabeza del RB 593, los dos ventiladores restantes son secundarios y están instalados en paralelo, aportando juntos 60 000 cfm y están instalados en el XC 543 SE que conecta al RB 600 del nivel 13.

La zona baja está comprendida desde el nivel 12A hasta el nivel 18, esta zona es de producción, desarrollo y profundización de la mina Casapalca. La necesidad de aire de esta zona es de 327 931 cfm, la evacuación del aire viciado de esta zona es por los RB 131 y 600. El ingreso de aire a esta zona es por la rampa principal y el pique 650, los ventiladores 100, 109 y 110 generan cada uno 150 000 cfm, en donde las chimeneas de evacuación del aire viciado son los RB 131 y 600.

Esta zona de producción no cuenta con un circuito principal de extracción de aire viciado independiente, y comparte con la zonas alta e intermedia, lo que le hace deficiente la evacuación del aire contaminado.

La extracción a través del RB 131 es de 23 407 cfm, el cual es insuficiente y no cubre las necesidades actuales de succión de los ventiladores principales, fundamentalmente por la distribución actual de aire viciado en los niveles 10 y 14, por este punto se succiona 335 744 cfm que representa el 93% de la capacidad actual de los ventiladores señalados instalados en superficie y el 7% del nivel 18.

Así mismo, hay una restricción en la succión del aire contaminado en esta zona, por la disminución del área y presencia de materiales en el crucero 270 NW, lo que produce un aumento de la resistencia en la succión del aire viciado.

La velocidad de flujo del aire en la rampa principal es baja, debido a la falta de capacidad de succión de aire viciado, originando saturación con gases contaminantes y el incremento de la temperatura de esta área de trabajo.

Ante el déficit actual de flujo de aire en la zona de cuerpos de Casapalca, se genera la recirculación del aire, originando el incremento de la temperatura en la zona de trabajo, produciendo mayores concentraciones de monóxido, hollín y polvos, que atentan contra la salud de los trabajadores, por la baja cobertura de aire fresco en las actuales labores.

Así mismo, en el avance del XC 212 del nivel 23 se ha encontrado aguas termales con temperaturas que llegan hasta los 42°C lo que origina el incremento de la temperatura en el ambiente de trabajo a 37,2°C en un radio de 20 m del tope, valores que superan a los límites de referencia para estrés térmico estipulado en el anexo N° 13 de Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 024-2016-EM y su Modificatoria D.S. N° 023-2017-EM.

Con este estudio pretendo cubrir el déficit de aire fresco en zona de cuerpos de CMCSA y de esta manera diluir la contaminación de los gases a niveles requeridos en una operación minera subterránea. De igual manera, reducir la temperatura térmica de trabajo en la zona baja, y poder controlar la fatiga, deshidratación y otros efectos sobre los trabajadores.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo mejorar el incremento de ventilación en zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ) ¿Cuánto es el requerimiento de aire total necesario para las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.?
- ) ¿Cuál será el nuevo circuito principal óptimo de extracción de ventilación en las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.?

- ) ¿Cuánto será el diámetro óptimo en función al caudal de aire a extraer de la chimenea Raise Boring 02 en las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.?
- ) ¿Cuáles son las características y el número de ventiladores axiales óptimos a necesitar para las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.?

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Realizar un plan de mejoramiento de ventilación en zonas cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- ) Calcular el requerimiento de aire total necesario para las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.
- ) Establecer el nuevo circuito principal óptimo de extracción de ventilación en las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.
- ) Determinar el diámetro óptimo en función al caudal de aire a extraer de la chimenea Raise Boring 02 en las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.
- ) Caracterizar y calcular el número de ventiladores axiales óptimos a las necesidades para las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.

### **1.4 Justificación**

Según el cálculo efectuado, existe una carencia de aire fresco en la zona de Cuerpos de CMCSA, que origina la recirculación del aire viciado por las labores produciendo así mismo, el aumento de temperatura en las zonas de trabajo; se observa así mismo, un incremento peligroso de los niveles de gases como el monóxido y hollín producto de la combustión incompleta de los equipos diésel empleados en la operación, los cuales ponen en peligro la salud de los trabajadores,

puesto que al ser inhalados puede producir la asfixia de los colaboradores de Casapalca, puesto que el CO se combina reversiblemente con la hemoglobina que hay disponible en la sangre, en vez de hacerlo con el oxígeno, dando origen a la falta de oxígeno en los tejidos. El caudal de aire fresco a la zona de cuerpos es:

Tabla 1

*Aire que ingresa a zona de cuerpos, según levantamiento a enero de 2019*

Ítem	Punto de ingreso	Nivel	Zona	Velocidad (m/s)	Área de la labor (m <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Caudal de aire (cfm)
1	BM Alex II	Superficie	Cuerpos	126,40	24,60	10,3	26,2	109 816
2	BM Alex I	Superficie	Cuerpos	189,87	18,70	6,4	40,7	125 385
3	BM NV. 430	Superficie	Cuerpos	146,33	8,43	5,9	38,7	43 582
4	BM Potosí I	Superficie	Cuerpos	98,80	10,30	14,3	21,5	35 922
5	BM Potosí II	Superficie	Cuerpos	97,40	4,14	10,3	29,2	14 252
6	RB 651	Superficie	Cuerpos	108,07	3,46	9,7	22,4	13 219
7	BM Nv. 600	Superficie	Cuerpos	128,47	12,03	6,4	30,9	54 572
Total:								396 748

Fuente: Departamento de ventilación de CMCSA.

Ante el incremento de demanda de ventilación en la zona de cuerpos de CMCSA, el aumento de la contaminación del aire fresco por recirculación del aire viciado, la elevación de la temperatura en las labores de desarrollo de la zona baja que bordea los 37,2°C que hace que el trabajo sea sumamente extenuante y agotador, y sumado al incremento de los costos de energía, hace que este estudio sea necesario con la finalidad de mejorar el sistema de ventilación actual, permitirá abastecer aire fresco en cantidad y calidad a los requeridos, lo que contribuiría en la disminución de la temperatura en la zona de trabajo y suministrar aire en las cantidades requeridas.

La solución que se plantea permitirá cumplir con el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 024-2016-EM y su Modificatoria D.S. N° 023-2017-EM, que para el año 2019 exige una cobertura de ventilación en 111% y que la temperatura en interior mina sea máximo de 26°C; para el logro de ello es necesario determinar el circuito principal de

extracción del aire viciado a superficie en la zona de cuerpos, para ello será necesario calcular los requerimientos actuales de aire fresco, puesto que la extracción actual de los mismos es insuficiente y no cubre la demanda actual de esta zona por la ausencia de succión adecuada, principalmente por la distribución actual de aire en los diversos niveles de operación; así mismo, la velocidad de aire en la rampa principal es lenta por falta de capacidad de succión del aire viciado lo que genera saturación de los gases contaminantes y el calentamiento de la zona de trabajo. De esta manera se daría una solución definitiva a la problemática actual de ventilación de la zona cuerpos de la CMCSA.

Este estudio es importante porque permitirá cumplir a cabalidad a CMCSA con el cumplimiento del Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 024-2016-EM y su Modificatoria D.S. N° 023-2017-EM, en la que exige a los titulares de las empresas mineras que el aire de ventilación debe cobertura la necesidad total en 111% y la temperatura en interior mina no debe sobre pasar de 26°C, para ello es necesario suministrar aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a los requerimientos por: trabajadores, equipos diésel, y evacuar los polvos, gases suspendidos que podrían afectar la salud de los colaboradores, así como mantener condiciones termo-ambientales adecuados.

## **1.5 Alcances y limitaciones**

### **1.5.1 Alcances**

El alcance llega al suministro de aire limpio a todas las labores subterráneas ubicados en las tres zonas de cuerpos de Compañía Minera Casapalca S.A. (CMCSA), de acuerdo a las necesidades de aire limpio requerido en el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería D.S. N° 024-2016-EM y su Modificatoria D.S. N° 023-2017-EM.

### **1.5.2 Limitaciones**

Este estudio es de alcance local porque se realizó solamente en la zona de cuerpos de CMCSA, excluyendo las zonas de Oroya y Esperanza.

Poco personal capacitado para realizar contantemente las mediciones de flujo de aire en interior mina y las actualizaciones de labores nuevas en el software.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del estudio

Este estudio de incremento de capacidad de ventilación en zona cuerpos en la Cia Minera Casapalca S.A tendrá como base los siguientes estudios de investigación:

##### 2.1.1 Estudios internacionales:

Carabajo, Carla. (2015), en su investigación *Diseño del circuito de ventilación de la zona norte de la mina Cabo de Hornos, ubicada en el distrito aurífero-polimetálico Portovelo-Zaruma*, resume que:

Ante las condiciones extremas donde se realiza la explotación minera subterránea, hace que el riesgo de asfixia se incremente por falta de una adecuada ventilación de las labores en explotación, impidiendo así mismo, una mejora en la producción.

El actual déficit de aire bordea en un 75%, cantidad que se incrementa a medida que se avanza en los trabajos de desarrollo y preparación, debido a no contar en profundidad con chimeneas de extracción del aire viciado; así mismo, la concentración de los gases aumenta en la zona más baja debido al empleo de scooptrams y volquetes diésel que deteriora más las condiciones laborales.

De igual manera, la temperatura media en los frentes de trabajo llega los 29 °C y humedad relativa de cercanas a los 86% que hace que el trabajo en las mismas sea agobiante. (p. 23).



De igual forma, Castillo (2017) en su trabajo *Evaluación del sistema de ventilación de la mina El Roble*, concluye que:

La cobertura de aire de esta empresa es de solamente del 16%, incumpliendo el reglamento vigente debido a que los equipos y maquinaria empleadas en la operación producen cantidades elevadas de contaminantes por lo que fue necesario mejorar su sistema de ventilación de acuerdo a sus necesidades actuales y requerimiento de aire calculado con este estudio. Para tal fin se instaló un nuevo ventilador de 200 000 cfm el cual mejora notablemente las necesidades de aire con un superávit de 18,6%. (p. 99).

Así mismo, López (2014) en su investigación *Estudio del sistema de ventilación a implementar en la ampliación de una mina metálica mediante el software Ventsim*, manifiesta que:

La simulación de la red de ventilación se efectuó con el programa Ventsim, el cual se basa en el método de Hardy Cross, que es un método interactivo donde se ajusta el caudal de aire mediante aproximaciones sucesivas hasta encontrar un margen de error mínimo.

Las bondades del programa Ventsim son:

- Simula y entrega el reparto de caudales en minas existentes y no existentes.
- Anticipa tendencias en el comportamiento de todo el circuito de ventilación antes de su ejecución.
- Apoya en la planificación de corto y largo plazo de nuevos requerimientos de ventilación.
- Ayuda en el proceso de selección de nuevos ventiladores principales y secundarios, ductos de ventilación y otros accesorios de ventilación como reguladores y puertas de ventilación.
- Apoya con el análisis económico para hacer distintas opciones de ventilación.
- Permite simular la propagación de gases contaminantes, humos y polvo en caso de emergencias y la evacuación del personal.

Procedimiento de modelación con software Ventsim:

- Importar a Ventsim las especificaciones, dimensiones y geometría de las labores subterráneas que constituyen el circuito de ventilación, es decir: área transversal, perímetro, longitud, coeficiente de rozamiento y geometría de las mismas.
- Antes de simular, chequea: si se han introducido adecuadamente las dimensiones y los datos geométricos, el ingreso y salida del aire estén operativas, y que las pérdidas de energía se hayan incluido en cada rama de ventilación.
- Asegurarse el o los caudales de entrada medidos previamente.
- Modificar las resistencias teóricas calculadas hasta determinar el caudal que circula por cada rama de ventilación y estas sean igual a los obtenidos a los calculados.
- Introducir las curvas características de los ventiladores principales.
- Verificar el funcionamiento de la curva característica en el sistema correspondiente con el dato real del ventilador. (pp. 4 y 5).

### **2.1.2 Estudios nacionales:**

Vila, Ángel. (2013), en su tesis de grado *Mejoramiento del circuito de ventilación en unidad minera Arcata mediante la ejecución del Raise Boring # 90*, resume que:

Se aumenta el caudal de aire de ventilación de la zona I-B Nv. 4530 de veta Alexia basado en: número de trabajadores y equipos diésel, con el fin de mejorar el sistema de ventilación mediante el uso de la fórmula de Atkinson y la data obtenidos del software de ventilación Ventsim, con las cuales se simulo a las diferentes condiciones de operación de mina Arcata.

Esto permitió reducir el costo de ventilación en US\$ 0,28/TMS que representa en menos 4,33%, representando un ahorro significativo para la empresa. (p. 3).

De igual manera Huamán Carlos. (2009) de su estudio *Mejoramiento del sistema de ventilación en la zona cuerpos Compañía Minera Casapalca S.A. Unidad Americana*, concluye que:

Ante el crecimiento de producción de Casapalca su sistema de ventilación debe actualizarse ante las necesidades de mayor demanda de ventilación y poder cumplir a las exigencias del reglamento de seguridad y salud ocupacional vigente a la fecha, para ello es necesario modificar la red actual de ventilación de acuerdo a las nuevas labores de producción.

Para ello es necesario la construcción de nuevas chimeneas de mayores diámetros y deben estar ubicados en lugares estratégicos del cuerpo mineralizado, los cuales permitirán la extracción de aire contaminado producto de la explotación. (p. 7).

De otro lado, Córdova, Cristian. *et al.* (2011), en su estudio titulado: *Caracterización del sistema de ventilación en minería subterránea*, finaliza que:

El sistema de ventilación es fundamental en toda mina subterránea, puesto es el que proporciona las condiciones mínimas de confort para todos los trabajadores. Para ello es necesario conocer las características del circuito de ventilación, es decir, los caudales necesarios, nuevos requerimientos programados, dimensiones de la labores verticales y horizontales por donde pasa el flujo y poder así calcular la resistencia de la mina.

De igual manera, es necesario determinar las necesidades de aire de acuerdo a la cantidad de personal en mina, para la dilución de gases tanto de la explotación como los generados por la voladura y control del polvo.

Es necesario también, tener una adecuada sección de las labores, así como también una adecuada ubicación de las puertas y cortinas de ventilación, que son necesarios para una buena circulación del aire fresco. Al tener toda esta información se tomará la decisión adecuada en base a las simulaciones de la malla de ventilación con un software de ventilación. (pp. 84 y 85).

Así mismo, Suty, Jesús. (2016). *Influencia de la ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno*, resume que:

Influye notablemente la ventilación mecánica en las operaciones, puesto que al instalar los ventiladores de 25 000 y 15 000 cfm se logra cubrir las necesidades de aire de la zona, el cual al instalarlos en serie mediante una cámara de acumulación de una capacidad instalada de 75 m<sup>3</sup>, con lo que logro mejora en la productividad de acarreo de mineral con lo que se incrementó el rendimiento en 4,6 TM/guardia, evitando así mismo la recirculación del aire viciado. (p.4).

De manera parecida, Niño (2015) en su estudio *Influencia de la ventilación natural y forzada en el dimensionamiento del sistema de ventilación de la mina Limpe Centro-Unidad Minera Iscaycruz-provincia de Oyón-Lima*, sintetiza que:

Esta empresa dispone de un sistema mixta de ventilación donde el aire ingresa por tiro natural de 19,59 cfm que representa el 12,66% del total, y se completa el 87,34% restante mediante dos ventiladores mecánicos con una potencia total de 250 HP que representa 142 500 cfm. Ante el incremento de producción acrecienta la demanda de ventilación por el aumento de equipos diésel, se tiene un déficit de 106 660 cfm. (p.5).

De igual manera, Guillen, Cesar. (2016) en su estudio *Optimización del sistema de ventilación aplicando tecnologías informáticas Minera Hemco – Nicaragua*, manifiesta:

Esta empresa desde 2018 viene mejorando su sistema de ventilación con el fin de incrementar la productividad y reducir sus costos actuales de operaciones. Como parte de este proyecto, y con el objetivo de incrementar la producción diaria a 1 300 TM con la entrada de producción de las vetas Pluto y Venus se rediseño su sistema de ventilación mediante la ayuda del software Ventsim 3,9 con la que se seleccionó de un nuevo ventilador de 15 000 cfm instalado en el crucero 270, logrando un superávit de 126,49 m<sup>3</sup>/min que representa un margen de 15%. (p. 4).

De otro lado, Caxi, (2017) en su trabajo *Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de minera Sotrami S.A. UEA Filomena-Aplicando el software Ventsim*, sintetiza que:

El sistema de ventilación en esta empresa minera es compleja, debida a las dimensiones de sus labores y los avances de las labores de desarrollo y preparación por lo que mediante el software Ventsim se efectuó simulaciones de los caudales de aire en los diversos circuitos de ventilación, lo que facilito la ubicación de nuevos ventiladores y establecer controles de flujo mediante la construcción de tapone, compuertas para direccionar el flujo de aire y evitar corto circuitos. (p. 4).

Por su parte, Rueda (2012) en su trabajo *Optimización del sistema de ventilación en una mina de gran altura, Compañía Minera Raura*, señala que:

Compañía Minera Raura S.A. está ubicada entre los departamentos de Lima y Huánuco y explota minerales de plomo, zinc, plata y cobre mediante el empleo de diversos métodos de explotación subterráneo, principalmente del sublevel open stoping. Tiene aproximadamente 200 km de labores, y más de 200 chimeneas entre niveles y a superficie en sus 50 años de operación, que hace que su sistema de ventilación sea complejo. Para superar este problema se desarrolló cuatro chimeneas de hasta 4 m de diámetro lográndose suministrar un caudal de 700 m<sup>3</sup>/s con la adquisición de tres nuevos ventiladores. Esta ampliación se logró mediante el empleo de herramientas de simulación computacional teórico y experimental ventsim visual que permitieron la redistribución de flujo y la ubicación de las nuevas chimeneas y ventiladores. (p. 1).

## 2.2 Bases teóricas

En el Decreto Supremo (D.S.) N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional indica:

### 2.2.1 Cálculo del requerimiento de aire–Anexo 38 (pp. 1 al 4).

#### A. Requerimiento de aire total ( $Q_T$ )

Cuando en la operación se utiliza equipos con motor petrolero. La demanda de aire al interior de la mina debe ser calculada de acuerdo al literal d) del artículo 252 del reglamento, considerando la formula siguiente:

$$Q_T = Q_T + Q_F$$

Donde:

$Q_T$  = Caudal total de la operación

$Q_T$  = La sumatoria del caudal requerido por:

- a) El número de trabajadores ( $Q_T$  )
- b) El consumo de madera ( $Q_M$  )
- c) Temperatura en labores de trabajo( $Q_T$  )
- d) Equipos con motor petrolero ( $Q_F$  )

$Q_F$  = 15% del  $Q_T$

$$Q_T = Q_T + Q_M + Q_T + Q_E$$

A estos efectos previamente debe determinarse lo siguiente:

**a) Caudal requerido de trabajadores ( $Q_T$ )**

$$Q_T = F \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

$Q_T$  = Caudal total para “n” trabajadores (m<sup>3</sup>/min)

F = Caudal mínimo por persona de acuerdo a escala establecida en el artículo 247 del reglamento

N = Número de trabajadores de la guardia más numerosa

**b) Caudal requerido por el consumo de madera ( $Q_M$ )**

$$Q_M = T \times u \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

$Q_M$  = Caudal requerido por toneladas de producción (m<sup>3</sup>/min)

u = Factor de producción de acuerdo a la escala establecida en el segundo párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento

T = Producción en toneladas métricas húmedas por guardia

Tabla 2

*Factor de producción de acuerdo al consumo de madera*

Consumo de madera (%)	Factor de producción (m <sup>3</sup> /min)
< 20	0,00
20 a 40	0,60
41 a 70	1,00
> 70	1,25

Fuente: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

**c) Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo ( $Q_T$ )**

$$Q_T = V_m \times A \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

$Q_T$  = Caudal por temperatura (m<sup>3</sup>/min)

$V_{III}$  = Velocidad mínima

$A$  = Area de la labor promedio

$N$  = Número de niveles con temperatura mayor a 23°C, de acuerdo a escala establecida en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento

Tabla 3

*Factor de temperatura*

Temperatura seca (°C)	Velocidad mínima (m/min)
< 24	0,00
24 - 29	30,00

Fuente: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSS0.

**d) Caudal requerido por equipo con motor petrolero ( $Q_E$ )**

$$Q_E = 3 \times HP \times D_{III} \times F_u \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

$Q_E$  = Volumen de aire necesario para la ventilación (m<sup>3</sup>/min)

HP = Capacidad efectiva de potencia (HP<sub>s</sub>)

$D_{III}$  = Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%)

$F_u$  = Factor de utilización promedio de los equipos (%)

**e) Caudal requerido por fugas ( $Q_F$ )**

$$Q_F = 15\% \times Q_T \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

$$Q_T = Q_T + Q_M + Q_T + Q_E$$

En Sernageomin, zona sur (2015, p. 6 al 19) en su artículo *Ventilación de minas*, manifiesta que:

### 2.2.2 Gases en la minería

#### A. Composición del aire seco

Tabla 4

*Composición del aire en % de volumen y peso*

Ítem	% en volumen	% en peso
Nitrógeno	78,09	75,53
Oxígeno	20,95	23,14
Anhídrido carbónico	0,03	0,046
Argón y otros gases	0,93	1,284
Total	100,00	100,00

Fuente: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

#### B. Clasificación de los gases

Tabla 5

*Clasificación de los gases en minas subterráneas*

Irritantes, asfixiantes	Sofocantes	Explosivos, inflamables
Monóxido de carbono	Nitrógeno	Metano
Hidrógeno sulfurado	Anhídrido carbónico	Monóxido de carbono
Dióxido de nitrógeno (humos nitrosos)	Metano	Hidrogeno sulfurado
Anhídrido sulfuroso		

Fuente: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

#### ) Monóxido de carbono

❖ Características:



- Formula: CO
- Peso específico: 0,967
- Límite explosivo: 40 ppm – 44mg/m<sup>3</sup>
- Gas incoloro e inodoro

❖ Como se genera:

Producto de la combustión incompleta de materias orgánicas o carbonáceas, también se desprende del escape de los motores de combustión interna.

❖ Efectos fisiológicos del CO

Tabla 6

*Efectos fisiológicos del CO*

ppm	Efectos fisiológicos
40	Concentración máxima permisible para 8 h de exposición
200	Jaqueca después de ½ h de exposición (leve intoxicación)
400-500	Después de ¾ a 1 h, jaqueca, náuseas, pérdida de conocimiento entre 1½ y 2 h. Peligro para la vida después de 2 h.
800-1000	Pérdida de conocimiento después de 1 a 1½ h de exposición. Muerte después de 2 h.
1500-2000	Fuerte jaqueca, náuseas y pérdida de conocimiento entre ½ a 1 h. Fatal después de 1 h de exposición

Fuente: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

## ) **Hidrogeno sulfurado**

❖ Características:

- Formula: H<sub>2</sub>S
- Peso específico: 1,19
- Límite explosivo: 8 ppm – 11,2 mg/m<sup>3</sup>

- Gas incoloro, inflamable, olor a huevos podridos
- ❖ Como se genera:
  - Por descomposición de la pirita (FeS)
  - Por descomposición de sustancias orgánicas
- ❖ Efectos fisiológicos del H<sub>2</sub>S

Tabla 7

*Efectos fisiológicos del hidrogeno sulfurado*

ppm	Efectos fisiológicos
8	Concentración máxima permisible para 8 h de exposición
50-100	Intoxicación subaguda, leve conjuntivitis, irritación del conducto respiratorio, después de 1 h de exposición
200-300	Fuerte conjuntivitis e irritación del conducto respiratorio después de 1 h.
700	Posible intoxicación aguda, pérdida rápida de conocimiento. Paro respiratorio y muerte.
1000-2000	Intoxicación aguda, pérdida de conocimiento, paro respiratorio y muerte.

Fuente: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

## ) Dióxido de nitrógeno (humos nitrosos)

- ❖ Características:
  - Formula: NO<sub>2</sub> o N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>
  - Peso específico: 1,54
  - Límite explosivo: 2,4 ppm – 4,8 mg/m<sup>3</sup>
  - Gas color pardo rojizo a temperaturas sobre 23°C, picante y algo dulce.
- ❖ Como se genera:
  - Se produce por la explosión de la dinamita.

- Del escape de equipos s gasolina y diésel.
- Se desprende durante la soldadura al arco y con gas.

❖ Efectos fisiológicos del NO<sub>2</sub>

Tabla 8

*Efectos fisiológicos del dióxido de nitrógeno*

ppm	Efectos fisiológicos
2,4	Concentración máxima permisible para 8 h de exposición
600	Irritación a la garganta
100	Cantidad mínima que produce tos
150	Peligro, incluso para exposiciones cortas
200-700	Fatal, aún en exposiciones cortas.

Fuente: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

) **Anhídrido sulfuroso**

❖ Características:

- Formula: SO<sub>2</sub>
- Peso específico: 2,2
- Límite explosivo: 1,6 ppm – 4 mg/m<sup>3</sup>
- Gas incoloro picante, irritante, sabor ácido y acentuado olor a azufre quemado.

❖ Como se genera:

- Por la combustión del azufre (piritas).
- Por la combustión del carbón rico en azufre.
- Voladuras en minerales con alto contenido de azufre de los que pueden desprenderse también H<sub>2</sub>S y CO.

❖ Efectos fisiológicos del SO<sub>2</sub>

Tabla 9

*Efectos fisiológicos del anhídrido sulfuroso*

ppm	Efectos fisiológicos
1,6	Concentración máxima permisible para 8 h de exposición
20	Irritación a los ojos.
150	Muy desagradable pero puede soportarse durante algunos minutos.
400-500	Peligroso, incluso por intoxicación corta.
1000	Origina la muerte en pocos segundos.

Fuente: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

## ) **Nitrógeno**

### ❖ Características:

- Formula: N
- Peso específico: 0,971
- Elemento constituyente del aire (78,06%)

### ❖ Como se genera:

- Se encuentra también en el aire en forma de amoníaco.
- Por voladuras (debido a la ausencia de oxígeno en el aire).
- En zona de la mina subterráneo donde la ventilación es deficiente y hay deficiencia de oxígeno.

### ❖ Efectos fisiológicos del nitrógeno:

- Es un gas inerte a la presión atmosférica, pero es nocivo para los pulmones por falta de oxígeno.

## ) **Anhídrido carbónico**

### ❖ Características:

- Formula: CO<sub>2</sub>
- Peso específico: 1,529
- Límite explosivo: 4000 ppm – 7200 mg/m<sup>3</sup>
- Gas incoloro inodoro, sabor ligeramente ácido.

❖ Como se genera:

- Se origina por la respiración de los seres humanos y animales.
- Producto de la combustión de sustancias con contenidos de carbón en presencia de exceso de aire u oxígeno.
- Está presente en los escapes de motores diésel que se emplean en interior mina.

❖ Efectos fisiológicos del CO<sub>2</sub>

Tabla 10

*Efectos fisiológicos del anhídrido carbónico*

ppm	Efectos fisiológicos
4000	Concentración máxima permisible para 8 h de exposición
5000	Necesita ventilación de los pulmones, origina jadeos.
6000	Ya es peligroso
10000	Solo se tolera algunos minutos.
15000	Produce la muerte.

Fuente: D.S. N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-RSSO.

Campillos (2015) en *Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea*, manifiesta que:

## 2.2.2 Diseño de la red de ventilación

### A. Concepto de caudal

Es el volumen de aire que ingresa por unidad de tiempo en una labor subterránea cualquiera, para su determinación se mide el aire que ingresa y se expresa en  $m^3/s$ , en donde la sección transversal de una labor esta expresado en  $m^2$  y la velocidad de flujo del aire en  $m/s$

## B. Resistencia aerodinámica

Se define a X como la carga de una corriente de aire que pasa por una sección transversal de una labor:

$$X = (p + \gamma \cdot \frac{V^2}{2g} + \gamma \cdot Z)$$

La pérdida de energía entre los puntos 1 y 2 será:

$$X = X_1 - X_2 = (p_1 + \gamma \cdot \frac{V_1^2}{2g} + \gamma \cdot Z_1) - (p_2 + \gamma \cdot \frac{V_2^2}{2g} + \gamma \cdot Z_2)$$

La resistencia de una labor minera  $R$  es:

$$R = \frac{1}{Q^2} \cdot X$$

Esta expresión matemática se puede expresar también en función al volumen de aire que ingresa:

$$R = \frac{1}{8g} \cdot \frac{\lambda \cdot \gamma \cdot P \cdot L}{S^3} = 12,74 \frac{\lambda \cdot \gamma \cdot P \cdot L}{S^3}$$

Donde:

= coeficiente de rozamiento

= masa volúmica o densidad del fluido, ( $kg/m^3$ ), es  $0,462 \frac{P}{T_s}$  mm

Hg/ $^{\circ}$ K

P = perímetro de la labor minera, (m)

L = longitud de la labor minera, (m)

g = aceleración de la gravedad, ( $9,81 m/s^2$ )

$S$  = sección transversal de la labor minera, si esta con cuadros de madera,  $S$  es la sección interior del cuadro.

### C. Coeficiente de forma de labor minera

Es una expresión empírica que relaciona el perímetro de la labor con su área, es decir:

$$\varphi = \frac{P}{2 \pi S}$$

Para el cálculo de la resistencia particularizada se aplica la ecuación anterior. Para  $R_S$  y si  $\lambda = 1,226$ , el valor de  $R_S$  será:

$$R_S = 55. (\lambda \cdot \varphi) \cdot \left(\frac{L}{S^{2,5}}\right)$$

Cuando en la labor minera se tiene instalado faja transportadora, redes de tuberis diversas, transporte por trenes, etc. La resistencia se incrementa. El nuevo valor se obtiene multiplicando la resistencia de la labor minera desocupado por un coeficiente de obstaculos  $E$ , donde la expresión será:

$$R_S = 55. (\lambda \cdot \varphi) \cdot \left(\frac{L}{S^{2,5}}\right) \cdot E$$

### D. Determinación de la resistencia aerodinámica de una labor

Se parte de la ecuación anterior de resistencia, conociendo la sección promedio de la labor, su perímetro y longitud de la misma, se complementarían con:

Donde:

$E$  = coeficiente de obstáculo por equipos, depende que tenemos instalado en la labor.

$\lambda$  = coeficiente de rozamiento, existe una diferencia entre el coeficiente de rozamiento de la pared de la labor  $\lambda_p$  y del suelo  $\lambda_s$ .

Los valores de  $\lambda_p$  y  $\lambda_s$  se obtiene de ábacos y tablas en función del material de revestimiento y el estado de las mismas.

## E. Determinación de la red de ventilación

Es calcular el reparto del caudal de aire que ingresa a la mina, por sus diversas labores verticales y horizontales y determinar después que los caudales se igualan o supera a las necesidades y trabajar con las condiciones mínimas que exige los reglamentos respectivos.

La determinación del reparto del aire se realiza por diversos métodos, que está en función a su mayor o menor complejidad de la mina estudiada.

### ) Determinación de la resistencia equivalente

En minas donde se cuenta con una entrada y una salida, la resistencia de las labores es más sencilla puesto que la determinación se reduce a la determinación de la resistencia en: paralelo, en serie o diagonal.

- Resistencia en paralelo  $\frac{1}{\sqrt{R_e}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}}$
- Resistencia en serie:  $R_e = R_1 + R_2 + \dots \dots + R_n$
- Resistencia en diagonal:

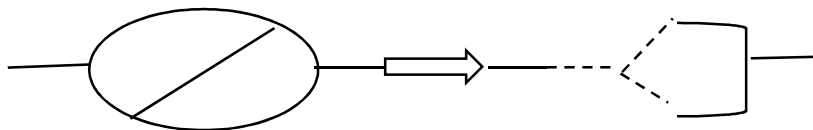


Figura 1. Resistencia diagonal.

Para resolver este sistema es necesario convertir de estrella a triángulo:

$$R_{1-2} = \frac{1}{2} \left( \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{\Sigma + 2\sqrt{R_1 (R_2 + R_3)}} + \frac{R_2 (R_1 + R_3)}{\Sigma + 2\sqrt{R_2 (R_1 + R_3)}} - \frac{R_3 (R_1 + R_2)}{\Sigma + 2\sqrt{R_3 (R_1 + R_2)}} \right)$$

$$R_{2-3} = \frac{1}{2} \left( \frac{R_2 (R_1 + R_3)}{\Sigma + 2\sqrt{R_2 (R_1 + R_3)}} + \frac{R_3 (R_1 + R_2)}{\Sigma + 2\sqrt{R_3 (R_1 + R_2)}} - \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{\Sigma + 2\sqrt{R_1 (R_2 + R_3)}} \right)$$

$$R_{1-3} = \frac{1}{2} \left( \frac{R_3 (R_1 + R_2)}{\Sigma + 2\sqrt{R_3 (R_1 + R_2)}} + \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{\Sigma + 2\sqrt{R_1 (R_2 + R_3)}} - \frac{R_2 (R_1 + R_3)}{\Sigma + 2\sqrt{R_2 (R_1 + R_3)}} \right)$$



### ) Selección del ventilador y determinación de reparto de caudales

Determinada la resistencia equivalente o la potencia, se determina la presión total que suministrara el ventilador principal par que circule por el sistema el caudal necesario.

$$X = \frac{R_e}{1} Q^2$$

Esto se complementa con el reparto de caudales de aire por los diversos ramales del circuito, para ello emplearemos:

- Tramos en paralelo:

$$X = R_1 Q_1^2 + R_2 Q_2^2 + \dots \dots + R_n Q_n^2$$

- Tramos en serie:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots \dots + Q_n$$

Por tanto:

$$X = R_e Q = (R_1 + R_2 + \dots \dots + R_n) Q^2$$

### ) Potencia aerodinámica necesaria

La potencia consumida por un ramal cuando circula un caudal (Q) y que experimenta una pérdida de carga X es:

$$W = X \cdot Q$$

### ) Evaluación de resultados

Es la comprobación del reparto del caudal de aire entre todas las labores, si alguna(as) labor(es) no está adecuadamente ventilado será preciso modificar su resistencia y volver hacer el cálculo. Disminuir su resistencia de una labor cualquiera significa incrementar su sección.

## F. Ventilación principal

Es aquella labor que lleva el aire a las principales labores de explotación. Todo circuito de ventilación está compuesto por uno a varias labores verticales y distribuyen el aire que ingresa a las zonas de explotación, y tiene uno o más labores verticales para la salida del aire contaminado. El ventilador principal es aquella es una máquina que produce en el circuito de ventilación un incremento de presión igual a la pérdida de energía o carga que experimenta el flujo del aire al recorrer las labores mineras subterráneas.

### ) **Tipos de ventiladores**

Hay dos tipos de ventiladores: centrífugos y axiales.

#### - **Ventiladores centrífugos**

El aire ingresa por su oído central y es aspirado por medio de una rueda con álabes donde es impulsado a un cuerpo de forma caracol, llamado voluta cuya sección se va incrementando hasta llegar al difusor que es el orificio de salida del aire.



*Figura 2.* Ventilador centrífugo.

#### - **Ventilador axial**

Está conformado por un conducto cilíndrico, una hélice formado por paletas fijas. El aire ingresa y sale paralelamente a la máquina. En la actualidad es el más empleado en las empresas mieras y pueden cambiar su sentido de circulación al invertir el giro del motor.



Figura 3. Ventilador axial.

## ) Curva característica de un ventilador

Hay una relación entre la cantidad de aire que ingresa al ventilador y el incremento de la presión que se produce entre la aspiración y la impulsión del aire al que se denomina curva característica de un ventilador.

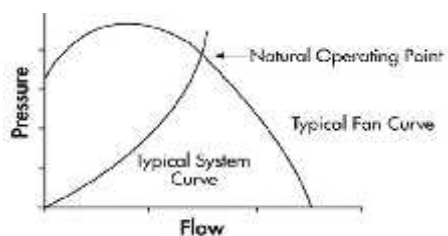


Figura 4. Curva característica de ventiladores.

El más importante es la zona de trabajo estable y el punto de bombeo. Punto que representa un peligro ya que el ventilador ingresa a un régimen inestable originando fuertes vibraciones junto con la rotura del mismo.

## G. Ventilación auxiliar

Es aquel sistema que haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas. Tiene como objetivo de ventilar labores de desarrollo y frentes de explotación con un ambiente adecuado para el buen desempeño de hombres y máquinas.

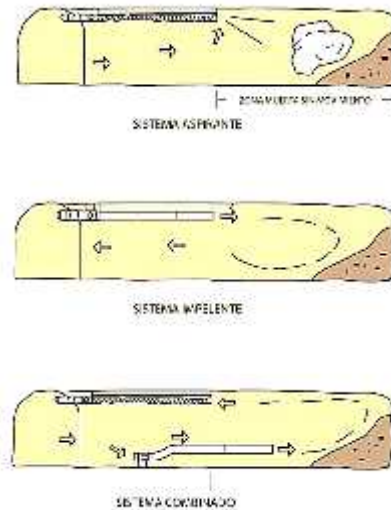


Figura 5. Sistemas de ventilación auxiliar.

## H. Cálculo de aforo de ventilación

### ) Levantamiento de presiones del circuito de ventilación

Es la medición de las presiones en cada estación por el método del barómetro para el análisis de cada circuito mediante el método del tubo de pitot.

### ) Sección de las labores subterráneas

Se debe medir la sección real de las labores subterráneas, las coordenadas y cotas respectivas deben ser proporcionados por el departamento topográfico respectivo.

### ) Cálculo de la velocidad y caudal de aire

Mediante un anemómetro se medirá la velocidad del aire que ingresa a cada labor. El caudal se obtendrá al multiplicar la velocidad del aire por la sección transversal de cada labor.

### ) Medición de la temperatura

Mediante un picnómetro se medirá la temperatura húmeda y seca en cada estación de medida. (pp. 11 al 29).

Según Rivera (2016) en su trabajo *Resistencia del sistema de ventilación de labores mineras*. (diapositivas 33 y 35) señala que:

### 2.2.3 Leyes de Kirchhoff

Las dos leyes de circuitos eléctricos fueron desarrolladas por el alemán Gustav Kirchhoff y también se puede aplicar al cálculo de circuitos de ventilación empleando análisis de la analogía de  $H - Q^2$ .

#### A. Primera ley

La suma de caudales en un nudo debe ser igual a cero.



Figura 6. Primera ley de Kirchhoff.

$$\text{Donde: } Q_1 - Q_2 - Q_3 = 0$$

#### B. Segunda ley

La suma de presiones alrededor de una malla debe ser igual a cero (ley de energía).

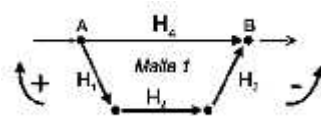


Figura 7. Segunda ley de Kirchhoff.

$$\text{Donde: } -H_1 - H_2 - H_3 + H_4 = 0$$

### 2.2.4 Circuitos de ventilación en serie y en paralelo

#### A. Circuito de ventilación en serie

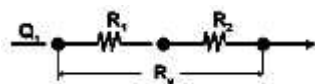


Figura 8. Circuito en serie.

Donde:

$$Q = \text{constante}$$

$$R_e = R_1 + R_2$$

$$H_e = H_1 + H_2 = R_e Q^2$$

### B. Circuito de ventilación en paralelo

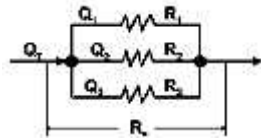


Figura 9. Circuito de ventilación en paralelo.

Donde:

$H = \text{constante}$

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$\frac{1}{\sqrt{R_e}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}}$$

#### 2.2.5 Método de Hardy Cross

Es el procedimiento más utilizado para determinar los caudales circulantes en una red reticulada cuyos diámetros son conocidos, es necesario partir de diámetros supuestos y comprobar posteriormente los caudales y presiones de servicio. Fue desarrollado por Cross en 1935. Para ello, se calcula un caudal corrector mediante un proceso iterativo, basándose en dos principios hidráulicos fundamentales, que tienen similitud con las famosas leyes de Kirchhoff en electricidad:

- En un nudo, la suma algebraica de los caudales entrantes y salientes es igual a cero.  $Q_i = 0$ .
- La suma algebraica de las pérdidas de carga en cada una de las líneas que componen la malla o retícula es nula.  $h_r = 0$ .

Cualquier expresión hidráulica para el cálculo de  $h_r$  puede expresarse en la forma

$h_r = a Q^2$ ,  $a = K.L$  que viene expresada, si se emplea la fórmula de Chèzy – Kutter por:

$$h_r = K \times L \times Q^2$$

Donde:

$$K = \left( \frac{6}{\pi^2 C^2 D^5} \right)$$

$$h_r = \left( \frac{6}{\pi^2 C^2 D^5} \right) \times L \times Q^2$$

De igual manera se puede emplear la ecuación Darcy-Weisbach, es el coeficiente de fricción, que depende de la rugosidad absoluta, el diámetro y Reynold ( $k/D$ ,  $Re$ ):

$$h_r = \frac{8 \lambda L Q^2}{\pi^2 g D^5}$$

Puede tomarse igual a 0,020 en toda las líneas o tramos, donde:

$$K = \frac{8 \lambda}{\pi^2 g D^5}$$

Cualquiera que fuese la expresión de  $h_r$ , la longitud del tramo o línea es un dato  $L$  y  $K$ , pudiendo constituirse en una constante  $a = L \times K$ , como hemos referido antes.

$$h_r = a Q^2$$

Siempre son conocidos los valores de: longitud, diámetro y la rugosidad de cada uno de los tramos de la tubería. Se suponen caudales circulantes en las mallas, partiendo de estos caudales mediante la fórmula que vamos a obtener se va corrigiendo hasta obtener los valores reales de los caudales en circulación.

En la malla siguiente, representa el caudal conocido  $Q$  que llega al nudo 1, se divide en cada rama  $Q_1$  y  $Q_2$ , valores supuestos y que debemos calcular. Se establece un convenio de signos arbitrario para el recorrido de los caudales, positivo para los caudales que circulan en sentido de las agujas del reloj y negativo lo contrario.

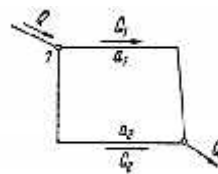


Figura 10. Malla de circulación de aire.

Si los caudales supuestos  $Q_1$  y  $Q_2$  hubieran sido correctos, se hubiera comprobado el principio:

“La suma algebraica de  $h_{r1}$  y  $h_{r2}$  es cero, lo que supone  $h_{r1} - h_{r2} = 0$ ”

Si  $Q_1$  y  $Q_2$  no son los correctos, hay que corregirlos para que lo sean, sea  $Q$  la corrección se tendrá que verificar:

$$h_{r1} - h_{r2} = a_1 (Q_1 + Q)^2 - a_2 (Q_1 + Q)^2 = 0$$

$$a_1 (Q_1^2 + 2 Q \cdot Q_1 + Q^2) - a_2 (Q_2^2 + 2 Q \cdot Q_2 + Q^2) = 0$$

Despreciando  $Q^2$  por ser muy pequeño con respecto a  $Q_1$  y  $Q_2$  se tendrá simplificando que:

$$Q = - \frac{a_1 Q_1^2 - a_2 Q_2^2}{2(a_1 Q_1 - a_2 Q_2)}$$

### 2.2.6 Ventilación natural

Según el Colegio de Ingenieros del Perú, Capítulo de Ingenieros de Minas. (2007) en su estudio *Ventilación de minas*, sostiene que:

La ventilación natural se debe a la diferencia de densidad entre el aire atmosférico y el aire del interior de la mina, debido a la desigualdad de temperatura del aire y a la variación de presión atmosférica y de interior mina.

Por ejemplo, si tenemos una mina:

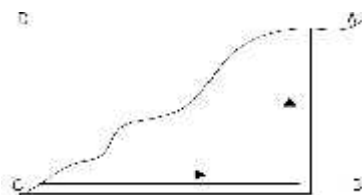


Figura 11. Recorrido del aire en ventilación natural.



En invierno, el aire que está en la labor AB incrementa de temperatura debido al calor de las rocas la que le hace más liviana que la columna de aire CD de la entrada de la boca mina, lo que da lugar que circule por tiro natural de CBA.

En verano sucede lo contrario, la corriente del aire se invierte y es de ABC. En las estaciones de primavera y otoño las temperaturas del aire externo con el aire de interior mina pueden igualarse, pudiendo cesar la ventilación natural en esta mina. Por tanto, la ventilación natural es muy variable y no es muy confiable.

El ingreso de aire a interior mina, necesita de una fuente de energía que puede ser natural o mecánica. La fuente natural de energía que garantiza un flujo de aire, es la gradiente térmica, originado por la diferencia de temperatura del aire atmosférico al desplazarse por la mina.

La presión de ventilación natural depende de la variación de altura entre las labores subterráneas y el exterior, cuanto mayor sea esta, mayor será el caudal de aire que ingresa a interior mina. Por tanto, el caudal de aire que ingresa por ventilación natural será mayor en minas ubicados en climas fríos que en climas cálidos.

Es por eso deberíamos considerar a la ventilación de minas subterráneas por tiro natural solo como un sistema auxiliar. (pp. 176 al 181).

## **2.3 Compañía Minera Casapalca S.A.**

### **2.3.1 Ubicación**

Se encuentra ubicado en el paraje Piedra parada, zona el Carmen, distrito de Chicla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima; geográficamente se localizada en la zona central, flanco oeste de la cordillera de los Andes, entre las coordenadas UTM 366761,70E y 8710455,60N Encontrándose el campamento Casapalca a los 4 350 msnm y la bocamina principal Gubbins se encuentra a los 4 200 msnm.

### **2.3.2 Acceso**

Es a través de la carretera asfaltada siguiendo la ruta Lima - Casapalca con una distancia de 115 Km; continuando por una carretera afirmada de 5 Km. que sube por la quebrada Carmen que conduce a la CMCSA, con un tiempo recorrido total de 3 horas.

### **2.3.3 Historia**

Casapalca es un yacimiento polimetálico en vetas de tipo hidrotermal; la extracción de menas de plata-plomo-zinc se remonta a tiempos coloniales; a fines del siglo XIX la Compañía Backus & Johnston, propietaria en aquel tiempo de los denuncios, inició el desarrollo y explotación sistemática de las vetas del distrito; posteriormente en 1921 la Cerro de Pasco Copper Corporation compró la mayoría de las concesiones que actualmente conforman la zona minera activa, iniciándose de esta manera la exploración, desarrollo y explotación técnica y planificada de los depósitos minerales; el 1 de enero de 1974 Centromin Perú S.A. adquiere todas las propiedades de la Cerro de Pasco Copper Corporation, y en mayo de 1997 con la privatización de la U.N. Casapalca de Centromin Perú S.A., la Empresa Minera Yauliyacu S.A. ahora Empresa Minera Los Quenuales S.A. y Compañía Minera Casapalca S.A. compran y se distribuyen los derechos mineros, realizando diferentes trabajos de expansión con la finalidad de incrementar producción a corto plazo; actualmente el estimado de producción es de 120 000 TMS/mes en c/u de las empresas. A fines de la década del 70 y en la década del 80 del siglo pasado se ubicaron los primeros cuerpos mineralizados adyacentes a las vetas.

### **2.3.4 Geomorfología**

El área de estudio está ubicada en la parte Occidental de los Andes Centrales del Perú, cerca de la línea divisoria de aguas en la Vertiente Pacífica, dentro de un valle pequeño de tipo glaciar, con altitudes que llegan hasta los 5 000 msnm; como es el caso del cerro Carlos Francisco.

La topografía es abrupta con fuerte pendiente, en especial en las zonas donde afloran las rocas volcánicas y los conglomerados del Miembro Carmen cuyos estratos están casi verticales y pertenecen al flanco Este del Anticlinal de Casapalca, y al flanco Oeste del Sinclinal Americana.

### **2.3.5 Clima**

El clima es seco y frío; durante los meses de diciembre–abril es lluvioso, la precipitación es con granizo, nieve y lluvia, entre mayo y noviembre hace bastante frío y aunque no llueve las noches son frías ya que caen las llamadas heladas, la vegetación es típica de altura, abundante ichu y musgo de diversas variedades y cantuta.

### **2.3.6 Estratigrafía**

La secuencia de la columna estratigráfica del distrito está constituida en su base por rocas sedimentarias (marinas y continentales), en el intermedio por rocas volcánicas, en la parte superior por rocas sedimentarias marinas y volcánicas, terminando en sedimentos modernos o recientes. El tiempo geológico está comprendido desde el cretáceo hasta el cuaternario.

### **2.3.7 Rocas sedimentarias**

#### **A. Mesozoico**

##### **Cretáceo Superior**

Formación Jumasha (450 – 600 m). Las rocas de esta formación no afloran en superficie en el área de Casapalca, y se asume su presencia dentro de la mina a una secuencia constituida por calizas de color gris con algunas intercalaciones de lutitas que fueron interceptadas en el desarrollo del Túnel Graton; en informes geológicos de dicho túnel se asume que las rocas

pertenecen a la Formación Jumasha. Estas rocas que cruzan el Túnel Gratón están subyaciendo a una secuencia de capas rojas y forman parte del eje Anticlinal de Casapalca.

## **B. Cenozoico**

### **B.1 Terciario**

Formación Casapalca (1 500 – 1 600 m). Esta formación es la más antigua que aflora en el distrito, forma parte del Anticlinal de Casapalca. Las rocas son de ambiente continental, y ha sido dividida localmente en dos miembros:

Miembro Capas Rojas. Se caracteriza por su coloración rojiza, consiste de una intercalación de arenisca y lutitas con matriz calcárea, el conjunto presenta coloración rojiza debido a finas diseminaciones de hematita; las areniscas son de grano fino o grueso y comúnmente presentan débil estratificación cruzada. El espesor de este miembro es más de 1 300 metros.

Miembro El Carmen. Consta de una intercalación de conglomerados, areniscas y calizas. Los conglomerados están constituidos de guijarros y cantos rodados de caliza y arenisca cuarzosa en matriz areno-arcillosa con cemento calcáreo. El espesor varía de 50 a más de 300 metros.

### **B.2 Cuaternario**

El cuaternario está representado por depósitos glaciares y conos de escombros de formación reciente.

Pleistocénico. Debajo de los depósitos glaciares, existen potentes series de morrenas terminales a elevaciones de 4 300 a 4 500 msnm.

#### **2.3.8 Rocas intrusivas**

Los afloramientos de rocas intrusivas en el distrito de Casapalca son pequeños, son similares químicamente, pero difieren en textura e intensidad de alteración, son de composición intermedia. Mc Kinstry y Noble indican que los stocks y lacolitos son de composición más ácida y de grano más grueso mientras los sills y diques son de composición más básica y de grano más fino.

### **2.3.9 Plegamiento y fracturamiento**

Las unidades estratigráficas están intensamente plegadas, sus ejes tienen rumbo promedio N20°W, paralelas al rumbo general de los Andes. Las estructuras geológicas más importantes son el Anticlinal Casapalca y Sinclinal Americana, que presentan pliegues menores en sus flancos.

El fracturamiento existente en la mina guarda relación con el Anticlinal Casapalca y Sinclinal Americana; el rumbo de las fracturas varía a medida que pasan de una unidad estratigráfica a otra, en general presentan rumbos N30°E a N90°E con buzamientos subverticales.

### **2.3.10 Geología económica**

#### **A. Tipos de depósitos de minerales**

Los depósitos de minerales son polimetálicos de origen hidrotermal y se presentan en dos grupos. Los filonianos y los depósitos de skarn llamados cuerpos mineralizados. En el primer grupo existe una diversidad de estructuras generalmente como resultado de la combinación de fracturas de tipo tensional y de cizallamiento, preminerales. El segundo grupo se relaciona a depósitos de skarn, cuerpos mineralizados de reemplazamiento metasomático en forma irregular en la Formación Casapalca.

### **A.1 Vetas**

Las vetas han sido formadas por proceso hidrotermal rellenando fisuras. En superficie el sistema de vetas ha reconocido estructuras en longitudes de 3 a 5 Km, en altura se han trabajado desde 4 800 msnm reconocidas hasta 3 540 msnm; las vetas tienen rumbo N30°E a N90°E, buzamientos variables de 55° a 88° NW; estas estructuras están emplazadas en todas las unidades litoestratigráficas del distrito.

Las vetas más importantes son: Oroya, Oroya Piso, Ximena, Ana María, Carolina, Chisay, Americana, Esperanza, Mariana, Mercedes, San Antonio, N3, Reynaldo, Alejandro y Juanita; estas vetas presentan lazos cimoides y ramales como son: Ximena Piso, Cimoide Oroya, Tensional, Oroya CT, Cimoide Oroya Piso, Esperanza Piso, Esperanza Piso 2, Mariana Piso, Mariana Techo, Marianita, Escondida y Rosario.

### **A.2 Cuerpos**

Los cuerpos mineralizados de Casapalca son depósitos formados por reemplazamiento metasomático y por relleno de cavidades, en areniscas y conglomerados de la Formación Casapalca. El mayor volumen de cuerpos mineralizados irregulares se encuentra en areniscas asociadas a la epidotización y silicificación del Miembro Capas Rojas Casapalca; en los horizontes de conglomerado del Miembro Carmen los cuerpos son de menor volumen, relativamente angostos y concordantes con la estratificación.

Los cuerpos reconocidos a la fecha son: Mery, Mery'O, Emilia, Emilia Norte, Micaela, Micaela 2, Sofía, Esperanza, Esperanza Diseminado, Esperanza Piso, Esperanza Techo, Esperanza Techo 2, Esperanza Techo 3, Sorpresa, Chiara, Chiara Diseminado, Vera, Mariana

Techo, Negrita, Negrita 2, Negrita 3, Vivian, Patty, Patty 2, Patty 3, Patricia, Escondida, Camucha, Carmen, Carmen 1, Carmen 2, Carmen 3, Carmen 4, Carmen 5, Carmen Q, Carmencita, Casapalca 1, Casapalca 2, Casapalca 3, Casapalca 4, Casapalca 5, Casapalca 6, Casapalca 7, Casapalca 8, Casapalca 9, Casapalca 10, M1, M2, M3, M4, Eva, Evita, Evo, Gloria, O4, Potosí, Rico, Riqueza, Americana, Alfa, Antachajra, Carla, Carolina, Carlos, Carlos 2, Carlos 3, Carlos 4, Carlos 5, Carlos 6, Carlos 7, Carlos 8, Carlos 9, Chisay, 681, 688, 707, 720, 775 y 814.

### **2.3.11 Mineralogía y paragénesis**

La mineralogía en la mina Casapalca es muy simple. Los principales minerales de mena son esfalerita, galena, tetraedrita y calcopirita. Los minerales de ganga son pirita, cuarzo y carbonatos (calcita, calcita manganífera y rodocrosita). Otros minerales raros son oropimente, rejalgar, argentita, estibina, rodonita, barita, bornita, arsenopirita, polibasita, boulangerita, jamesanita, bournonita, pirargirita o rosicler y geocronita.

### **2.3.12 Alteración hidrotermal**

La alteración hidrotermal de las rocas encajonantes sigue la secuencia normal que va de la propilitización, a cierta distancia de las vetas, a la piritización, sericitización y silicificación cerca de las vetas. Cuando la silicificación es intensa, la naturaleza original de la roca no puede ser deducida en la mayoría de los casos.

En las rocas volcánicas, las zonas de mayor alteración (cerca de la veta) presentan a la roca de color gris claro conformada por cuarzo, pirita y feldespatos alterados a sericita. Los ferromagnesianos son alterados a clorita y epidota con presencia de pirita.

### 2.3.13 Reservas de mineral de Cia Minera Casapalca S.A.

Tabla 11

*Reserva de minera de Cia Minera Casapalca S.A. al 31 de diciembre de 2018*

Mineral	TMS	Ancho Veta/cuerpo (m)	Ancho de minado (m)	Leyes			Zn %	Valores (US\$/TM)	Equiv. Oz/TC
				Ag Oz/TC	Pb %	Cu %			
Probado	3873265	4,63	4,76	3,13	0,89	0,35	2,28	36,90	7,04
Probable	1107207	7,23	7,37	3,81	1,10	0,34	2,30	41,71	7,87
Total	4980472	5,21	5,34	3,28	0,94	0,35	2,29	37,97	7,23

Fuente: Departamento de geología de CMCSA.

### 2.3.14 Método de Sublevel Stopping con taladros largos

Este método se aplica en la zona de cuerpos, donde las leyes son bajas, pero con este método de explosión se obtiene altos volúmenes de producción.

Este método se caracteriza por dejar cámaras vacías después de concluida la extracción del mineral, se caracteriza por su alta productividad puesto que las labores de preparación se efectúan dentro del yacimiento, para ello para prevenir la caída de las paredes el cuerpo es seccionado en dos a más tajeos, La perforación de los taladros largos empieza desde los subniveles en forma radial, después de la voladura el mineral cae a la zona vacía y es recuperado desde los Draw Points para luego ser transportado a los echaderos principales.

El minado con taladros radiales empieza a partir de la zona preparado en la parte inferior del tajeo, donde la perforación de los taladros largos desde el subnivel con taladros dispuestos radialmente a lo largo del perímetro de la sección transversal de la galería. El ciclo de explotación es de:

#### A. Perforación



La perforación es en forma radial con taladros ascendentes espaciados con distancias de 1,2 m a 1,4m con longitudes de hasta 14 m efectuadas desde las ventanas de una sección de 3,5 m x 3,5 m. El diámetro de los taladros es de 2", este diámetro favorece el carguío de los explosivos. Es aceptable con este diámetro de taladro, puesto que los taladros deben permanecer limpios y sin desprendimiento de los mismos interiormente, para poder cargarlos. El diseño de los anillos de perforación se efectúa teniendo en cuenta el área expuesto del block de una altura de 25 m y un ancho de 20 m.

### **B. Voladura**

Para la voladura se utiliza el ANFO, dinamita de 45% y 65%, y retardos de 25 milisegundos, lográndose un factor de potencia de 0,34 kg/TM. El carguío de los taladros se efectúa de acuerdo a la malla de voladura, en el cual se deja 1 m de taladro sin carga explosiva y el resto del taladro se divide en cuatro partes iniciándose el carguío. Cada tres taladros se llenan totalmente, los intermedios se cargan a  $\frac{3}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  de su longitud, distribuyéndose de ese modo la carga explosiva.

### **C. Limpieza**

Se efectúa mediante el empleo de scooptrams de 3,5 yd<sup>3</sup> y 6 yd<sup>3</sup> de capacidad, los cuales transportan el mineral mediante telemandos y cargan a los camiones de 30 TM de capacidad, los cuales trasladan el mineral por las rampas hasta los echaderos, a partir del cual son izados hasta la superficie por el pique 650.

### **D. Relleno**

Se emplea el relleno mixto, que consiste el relleno con material estéril producto de las labores de desarrollo mediante el empleo de scooptram de 6 yd<sup>3</sup> de capacidad, completándose la operación con el relleno hidráulico.

### **E. Transporte**

El transporte dentro de la mina se efectúa con camiones de bajo perfil dumper, lo que transportan el mineral desde los puntos de carguío hacia los echaderos en los niveles de los niveles de extracción 1 y 4. Luego se cargan a los carros mineros gramby, que lo trasladan a superficie mediante locomotoras a trolley, para ser transportados mediante volquetes de 25 y 30 TM a la planta concentradora.

## **2.4 Definición de términos**

### **Aire**

Es una mezcla de gases que forman la atmosfera terrestre, está constituido por 78,09% de nitrógeno, 20,95% de oxígeno, anhídrido carbónico 0,03% y argón y otros gases el 0,93% por gases nobles.

### **Aire fresco**

Es el aire atmosférico que ingresa al interior de una mina subterránea y es totalmente respirable.

### **Aire viciado**

Es el aire que retorna o sale de una mina subterránea y que ha sufrido el empobrecimiento en el contenido de oxígeno y se ha mezclado con aire tóxicos y otras emanaciones.

### **Aire de mina**

Es el aire atmosférico que durante el recorrido por labores subterráneas sufre una serie de alteraciones físico-químicas en su composición, al cargarse de algunos gases tóxicos, calor, vapor de agua y el polvo producidos en las explotaciones mineras subterráneas.

### **Calidad del aire**

Características físicas, biológicas y químicas del aire en una labor.

### **Conducto**

En ventilación de minas, se refiere a las labores horizontales y verticales como galerías, chimeneas por el cual circula el aire de ventilación.

**Ducto**

Se refiere a las tuberías de fierro, mangas de ventilación de lona o jebe los cuales transportan el aire producido por una ventiladora.

**Nudo de ventilación**

Punto de bifurcación con entrada y salida de uno o más caudales de aire para ventilación.

**Presión total**

Es la suma de las presiones: cinética o dinámica y la presión mecánica o estática.

**Presión mecánica o estática**

Es el coeficiente que se obtiene al dividir la fuerza sobre el área que ejerce el fluido (aire) en forma perpendicular a la dirección del flujo, es decir es la presión ejercida por el aire a las paredes del ducto.

**Presión cinemática o dinámica**

Es la presión ejercida por el fluido en movimiento sobre un obstáculo que interfiere su movimiento.

**Resistencia**

Es el grado de dificultad para desplazarse el aire de ventilación de una mina, de un lugar a otro, y depende de la sección de la labor, y longitud.

**Ventilar**

Remover el aire del ambiente de trabajo

**Ventilación aspirante**

Es la extracción del aire contaminado de gases, polvos, humos del frente de una labor, para evitar la dispersión en toda la labor.

**Ventilación auxiliar**

Es el sistema que suministra aire fresco a los frentes ciegos donde la ventilación principal no llega.

**Ventilación forzada**

Es producida por la depresión forzada producida por un ventilador, los cuales introducen aire fresco por medio a través de las mangas de ventilación.

**Ventilación mixta**

Es la combinación de insuflado de aire limpio y la aspiración del aire contaminado de un frente de trabajo.

**Ventilación natural**

Es el flujo natural de aire fresco que ingresa al interior de una mina por medio de una labor minera sin necesidad de una fuerza externa, producida por la diferencia de presión entre el punto de entrada y de la salida y por diferencia de temperatura durante las estaciones del año.

**Ventilación principal**

Sistema que influye significativamente en el caudal total que ingresa a una mina.

**Ventilación secundaria**

Sistema instalado en serie con la ventilación principal, para vencer el aumento de resistencia de la operación en una determina labor minera.

**Ventilación soplante**

Consiste en hacer ingresar aire limpio a una labor para diluir los gases y otros contaminantes.

**2.5 Hipótesis****2.4.1 Hipótesis General**

El plan de mejoramiento incrementará la capacidad de ventilación en zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.

#### 2.4.2 Hipótesis específica

- ) El cálculo del requerimiento de aire total es el necesario para conocer necesidades de aire de las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.
- ) El nuevo circuito principal de extracción de ventilación optimiza la ventilación de las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.
- ) El diámetro de la chimenea Raise Boring 02 será el óptimo y estará en función al caudal de aire extraer en las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.
- ) Las características y la cantidad de ventiladores axiales es el óptimo para las necesidades de las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.

## 2.6 Variables e indicadores

### 2.6.1 Tipo de variables

Variable 1: Plan de mejoramiento

Variable 2: Incremento de la capacidad de ventilación

### 2.6.2 Operacionalización de las variables

Tabla 12

#### *Operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Plan de mejoramiento	Conjunto de medidas de cambio con el objeto de mejorar sus rendimientos en una empresa	Es el incremento del caudal de viciado en circuito ventilación, mediante	Zona alta	Demanda de aire de 185 402 cfm. No cuenta con circuito principal de extracción independiente de aire viciado a superficie.  Requerimiento de aire de 286 124 cfm.

	<p>dada. Las medidas que son sistemáticas y no aleatorias. Las reducciones de resistencia en labores horizontales y verticales, conexión entre labores y la construcción de otras.</p>	Zona intermedia	<p>Ausencia de un circuito principal de extracción independiente de aire viciado. Caudal requerido de 327 931 cfm.</p>
		Zona baja	<p>No cuenta con circuito principal de extracción de aire viciado compartido con zonas alta e intermedia Restricciones de succión de aire viciado por área reducida.</p>
Incremento de la capacidad de ventilación		Zona alta	<p>No presenta problemas relevantes.</p>
		Zona intermedia	<p>Conexión del RB 131 con XC 083, Nv. 10 por sección reducida. Disminución de la resistencia del XC 131, Nv. 10, que reduce el caudal la extracción de los niveles inferiores Instalar en paralelo los dos ventiladores en XC 543 SE que conecta RB 600 Nv. 13, que operan en serie.</p>
		Zona baja	<p>Conexión con pique 650 para el ingreso de aire fresco. Construcción del RB 02 que conecte superficie con el Nv. 10 y este mediando el RB 338 con el Nv. 18.</p>

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA DE INVESTIGACION**

#### **3.1 Tipo de investigación**

Según su enfoque es cuantitativo, puesto que recopilará y analizó datos de campo para poder determinar el mejoramiento por el incremento de la capacidad de ventilación de esta empresa minera. Según su propósito, es aplicada pues su objetivo es calcular el incremento de la capacidad de ventilación de Cia Minera Casapalca S.A.

#### **3.2 Nivel de investigación**

Este estudio es descriptivo y está enfocado a estudiar el incremento de la capacidad de ventilación de esta empresa minera.

#### **3.3 Método de investigación**

Se empleará el método científico como método general, puesto que para incrementar la capacidad de ventilación de la Cia Minera Casapalca S.A. tendré que seguir una serie de pasos que controlan el proceso de investigación. Como método específico será el analítico sintético, puesto que se distinguen los elementos del mejoramiento de la ventilación y se procederá a estudiar cada uno de ellos con la finalidad de estudiarlos.

### 3.4 Diseño de investigación

Con el fin de recolectar la información necesaria para responder las preguntas de investigación cuantitativa y cumplir con los objetivos de la investigación se empleará el diseño descriptivo – explicativo, puesto que observaremos el fenómeno tal como se da en su contexto para posteriormente sea analizado.

### 3.5 Población y muestra

#### 3.5.1 Población

Estará compuesto por todas las labores subterráneas verticales, horizontales e inclinadas ubicadas en la zona: alta, intermedia y baja de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A. y poder determinar los circuitos de ventilación.

#### 3.5.2 Muestra

Para efectuar las simulaciones y encontrar las vías de los circuitos de ventilación de la zona de cuerpos y evitar cualquier error estadístico, la población será igual a la muestra.

### 3.6 Procedimiento de recolección de datos

#### 3.6.1 Técnicas de recolección

Se confeccionó tablas para el acopio de la data de las estaciones de medición:

Tabla 13

#### *Recolección de información para ventilación por estación de medición*

Labor:		Fecha:	Turno:
Barómetro exterior:		Barómetro mina:	
Operador:			
Nº de estación:	Ubicación:	Cota:	Hora:
Sección:		Anemómetro:	
- Base:		Punto 1:	Punto 6:
- Altura:		Punto 2:	Punto 7:
Observación:		Punto 3:	Punto 8:
		Punto 4:	Punto 9:
Temperatura seca:	Humedad relativa:	Punto 5:	Punto 10:



Temperatura húmeda:	Presión exterior:	Presión interior:
Contenido en:	Contenido en O <sub>2</sub> :	
Observaciones:		

---

Tabla 14

*Características de los ventiladores instalados en la actualidad*

N° Ventilador	Ubicación		Presión	Caudal	Potencia	Observación
	Nivel	Labor				

---

Tabla 15

*Simulación de ventilación natural*

Nivel:		Labor:		Fecha:		
Ramal	Nodo	Nodo	Caudal	Resistencia	Caudal	Velocidad
	1	2	forzado	(Ms <sup>2</sup> /m <sup>8</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(m/s)

---

**3.6.2 Instrumentos de recolección**

Se contará con el software de simulación para ventilación de minas Ventsim, versión 4.5, para realizar las simulaciones y cálculos del sistema de ventilación.

**3.7 Técnicas de procesamiento de datos**

Los datos de ventilación obtenidos de campo como son: velocidad del aire, sección, perímetro, forma y longitud de la labor, clase y resistencia de la vía, medición de los gases circulantes, temperatura húmeda y seca, presión barométrica, peso específico del aire, presión de saturación a la temperatura húmeda, humedad relativa, altura sobre el nivel del mar de los puntos, y otros se ingresará al software Ventsim versión 4,5 en los cuales se efectuarán los calculo, análisis y evaluaciones integrales respectivos del sistema de ventilación, y poder encontrar los circuitos de ventilación adecuado para CMCSA.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1 Presentación de datos generales

##### 4.1.1 Sistema de ventilación de Cia Minera Casapalca S.A. (CMCSA)

Esta mina está compuesta por tres zonas: Oroya (13%), Esperanza (8%), y cuerpos (79%) del volumen total de movimiento de mineral y desmante.

Actualmente la mina CMCSA requiere un volumen de aire de 1 015 113 cfm, contando con un volumen de ingreso de solamente 535 433 cfm y una salida de 569 543 cfm, que representa una cobertura de solamente del 53% de la cobertura total.

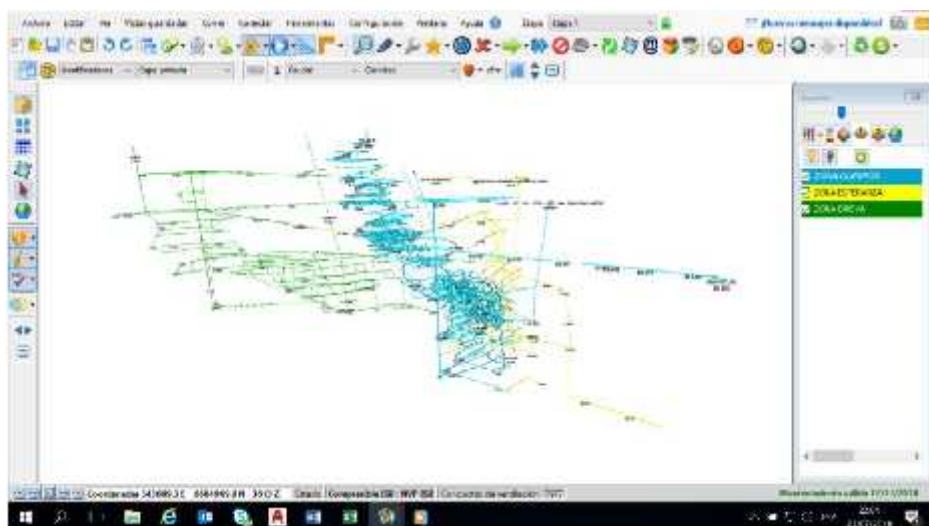


Figura 12. Isométrico de ventilación a julio 2019 de CMCSA.

Actualmente se necesita un requerimiento de aire de:

Tabla 16

*Requerimiento actual de aire de CMCSA*

Zona	Requerimiento (cfm)	%
Cuerpo	799 456	78,76
Oroya	130 995	12,90
Esperanza	84 661	8,34
Total:	1 015 112	100,00

### A. Cuerpos

Actualmente la zona de cuerpos tiene un requerimiento de 799 456 cfm, los cuales se distribuyen en tres zonas: alta, intermedia y baja, como se muestra en el isométrico de ventilación:

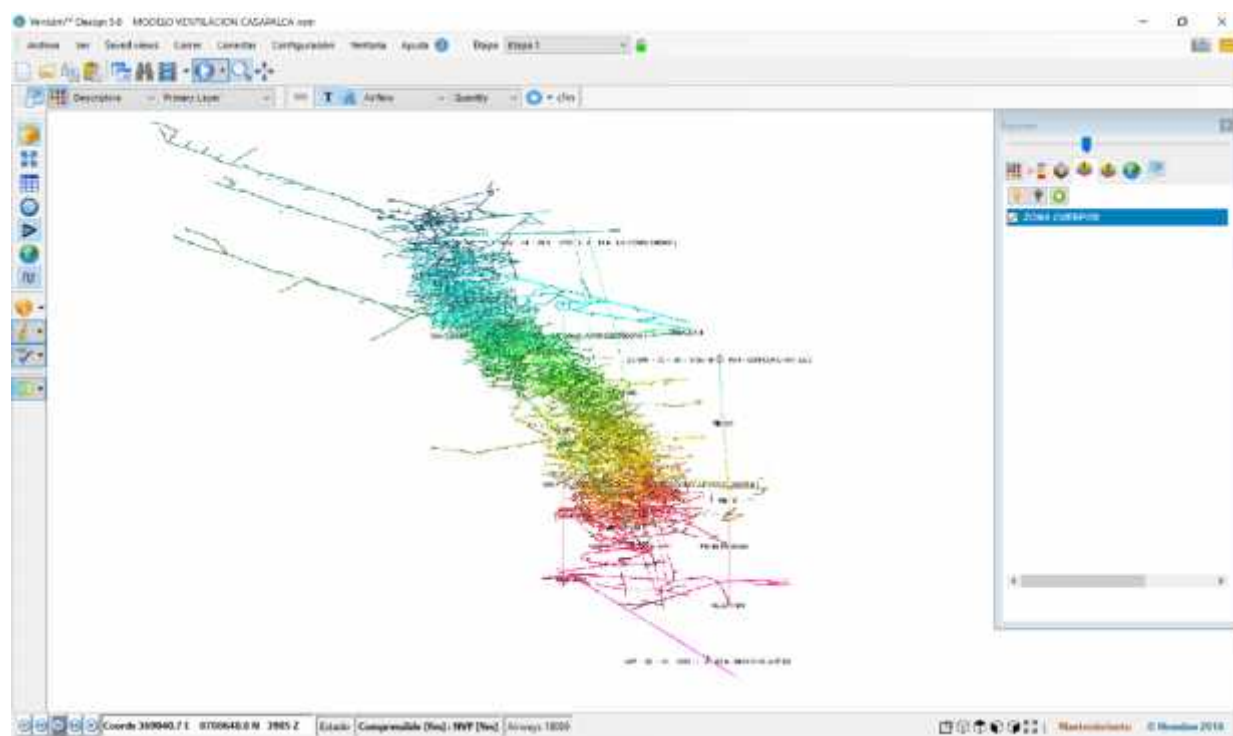


Figura 13. Isométrico de ventilación de la zona cuerpos a julio 2019 de CMCSA

- Zona alta

Esta zona esta comprende los niveles: 200, 300, 400, 600, 700, 1A, y 4A. A la fecha tiene una producción de mineral de 30 500 TMS/mes, para el cual necesita cubrir una demanda de 185 402 cfm en el sistema de ventilación principal.

El ingreso de aire a esta zona es por el BM Alex I, Alex II y BM Nv. 600 generado por la succión de los ventiladores 100, 109 y 110. El circuito principal no presenta problemas relevantes por la succión del volumen de aire de estos ventiladores.

- **Zona intermedia**

Comprende desde el Nv. 5 hasta Nv. 9A. El plan de operaciones mineras de esta zona es la recuperación de minerales de los puentes. Este nivel tiene un requerimiento de aire de 286 124 cfm en el sistema de ventilación principal.

El ingreso de aire es principalmente por el BM Alex I, Alex II y BM Potosi generado por la succión de los ventiladores 100, 109 y 110, fundamentalmente por el ventilador 100 de una capacidad de 150 000 cfm ubicado en la cabeza del RB 593, el cual está apoyado por dos ventiladores secundarios de una capacidad de 60 000 cfm que está instalado en el Nv. 13.



Figura 14. BM túnel Potosí cruceo 800 de CMCSA.



Figura 15. BM túnel Potosí II de CMCSA.

Esta zona no presenta dificultades notables por la adecuada succión de aire por los ventiladores 100, 109 y 110. Esta zona no cuenta con un circuito principal de extracción independiente que permita extraer el aire viciado a superficie, sin tener que reducir la extracción de aire contaminado de las zona intermedia y bajas.

La operación de dos ventiladores de una capacidad de 60 000 cfm instalados en paralelo en el XC 543 Seque está conectado al RB 600 del Nv. 13 que opera en serie con el ventilador de 100 en superficie, el cual reduce el volumen de extracción del aire viciado de los niveles inferiores.

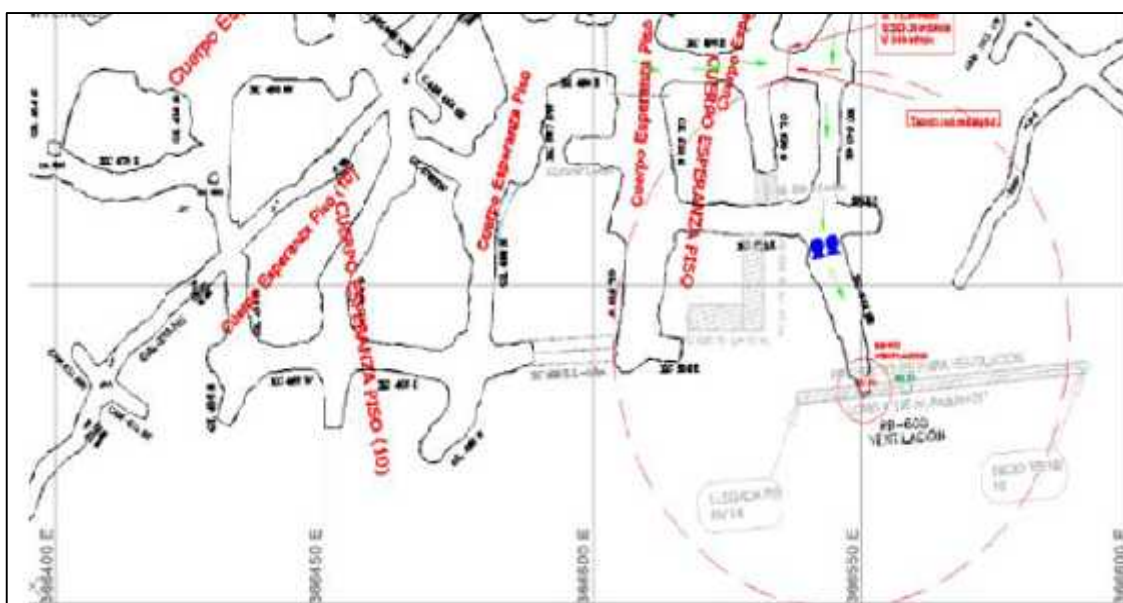


Figura 16. Ubicación de los ventiladores de 60 000 cfm, Nv. 13 CMCSA.



*Figura 17.* Ventiladores secundarios de 60 000 cfm instalados en paralelo en XC 543 SE.



*Figura 18.* Ventilador principal de 150 000 cfm en RB 593 Y RB 600 de CMCSA.

#### - **Zona baja**

Comprende desde el Nv. 12A al Nv. 18, según el plan de producción en esta zona comprendida en producción, desarrollo y profundización de la mina.

Esta zona requiere un volumen de aire de 317 931 cfm para el cual se cuenta con los RB 131 y 600 la evacuación del aire contaminado.

El aire ingresa principalmente a esta zona por la rampa principal y el pique 650 generado por la succión de los ventiladores 100, 109 y 110 de una capacidad de cada una de 150 000 cfm; siendo los ductos principales de extracción del aire contaminado los RB 131 y 600.

Esta zona también no cuenta con un circuito principal de extracción los cuales es compartido con la zona alta e intermedia lo que da origen a una deficiente ventilación.

La extracción de aire contaminado es de 23 407 cfm por el RB 131, el cual es insuficiente para cubrir la necesidad actual de la zona por la ausencia de succión de los ventiladores principales, fundamentalmente por la actual distribución de aire viciado en los niveles 10 y 14, por donde se extrae 335 744 cfm que representa el 93% de la capacidad actual de los ventiladores ubicados en superficie y el 7% del nivel 18.



*Figura 19.* Ingreso al XC 270 NW del nivel 18 de CMCSA.



*Figura 20.* Medición en los túneles Alfa y Omega y XC 040 NE de CMCSA.

#### **4.1.2 Balance de ventilación**

Actualmente esta mina mecanizada requiere un flujo de aire de 1 015 113 cfm, contando a fines de julio del presente año de solamente 538 009 cfm que representa una cobertura de solamente 53%, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 17

*Balance de aire al 31 de julio de 2019*

Ítem	Volumen (cfm)
Ingreso de aire	538 009
Salida de aire	569 543
Diferencia	31 534
Requerimiento	1 015 113

Este déficit de aire genera recirculación del aire, lo que origina: incremento de la temperatura, mayor concentración de monóxido, polvos, hollín, lo que provoca una baja cobertura de las labores actuales de esta zona.

Para ello se efectuó el levantamiento de la zona crítica, tomando como base los parámetros operativos de los ventiladores principales y de los ductos de los niveles principales, revisando también el plan de minado de esta zona y el movimiento de la mina determinando lo siguiente:

Tabla 18

*Requerimiento de caudal de aire en las tres zonas a julio de 2019*

Zona	Caudal (cfm)
Cuerpos	799 456
Oroya	130 995
Esperanza	84 661
Total:	1 015 112



### 4.1.3 Ingreso de aire fresco a mina

El ingreso de aire fresco a esta unidad minera es por bocaminas, pique, chimeneas raise boring en los diferentes sectores, siendo el volumen de ingreso de ventilación de:

Tabla 19

*Levantamiento de ventilación al 31 de julio de 2019*

Ingreso	Nivel	Zona	Velocidad (m/min)	Área (m <sup>2</sup> )	Temperatura promedio (°)	Humedad relativa (HR) (%)	Caudal (cfm)
BM Alex I	Superficie	Cuerpos	126,40	26,40	10,3	26,2	109 816
BM Alex II	Superficie	Cuerpos	189,87	18,70	6,4	40,7	125 385
BM Nv. 430 (cuerpos)	Superficie	Cuerpos	146,33	8,43	5,9	38,7	43 582
BM 435 zona Carmen (Oroya)	Superficie	Oroya	136,07	12,03	6,4	30,9	57 800
BM 435 zona Esperanza	Superficie	Esperanza	53,60	22,80	9,3	26,1	43 164
BM 480 zona Esperanza	Superficie	Esperanza	0,00	21,74	9,6	26,5	0
BM 480 zona Esperanza(z.a.)	Superficie	Esperanza	85,80	12,45	9,4	26,8	37 732
BM Potosí I	Superficie	Cuerpos	98,80	10,30	14,3	21,5	35 922
BM Potosí II	Superficie	Cuerpos	97,40	4,14	10,3	29,2	14 252
BM 651	Superficie	Cuerpos	109,07	3,46	9,7	22,4	13 219
BM Nv. 600	Superficie	Cuerpos	128,47	12,03	6,4	30,9	54 572
Total de ingreso de aire fresco:							535 444

#### - **BM Alex I y II**

La bocamina BM Alex es el acceso principal de los equipos empleados en las operaciones de producción de CMCSA, el cual se divide en dos puntos denominados Alex I y Alex II y están ubicados en el Nv. 1, éste permite la entrada de un caudal de aire de 235 200 cfm a la zona de cuerpos de esta empresa minera y está ubicado a una altura de 4 414 msnm.



*Figura 21.* BM Alex I de CMCSA.

Tiene un área de  $24,6 \text{ m}^2$  con una temperatura promedio de  $8,4^\circ\text{C}$  y una humedad relativa (HR) de 23,5%.



*Figura 22.* Calculo de la velocidad en Alex I de CMCSA.

### - **BM potosí I y II**

Es el acceso antiguo a interior mina el cual se divide el ingreso en dos puntos Potosí I y Potosí II, estos puntos permiten el ingreso de un caudal de aire a la mina de 50174 cfm a la zona de cuerpos de CMCSA y está ubicado a una altura de 4 205 msnm. La sección promedio es de  $7,22 \text{ m}^2$ , alcanzando una temperatura promedio de  $12,3^\circ\text{C}$  y una humedad relativa de 25,4%.



Figura 23. BM Potosí I de CMCSA.

- **BM Nv. 435 (Esperanza)**

Es el principal acceso de aire fresco hacia las labores ubicado en la zona de cuerpos, el cual permite el ingreso de un caudal de aire de 43 582 cfm. Tiene una sección promedio de 8,43 m<sup>2</sup> alcanzando una temperatura promedio de 5,9°C y una humedad relativa de 38,7%.



Figura 24. BM Nv. 435 (Esperanza).

- **BM Nv. 480 (Esperanza)**

Es otro ingreso principal de aire fresco hacia el interior mina por la zona de cuerpos, permitiendo un ingreso de 43 164 cfm. El área promedio es de 22,8 m<sup>2</sup>, alcanzando una temperatura promedio de 9,3°C y una humedad relativa de 26,1%.



Figura 25. BM Nv. 480 (Esperanza) de CMCSA.

#### - **BM Nv. 435 (Oroya)**

Es otro ingreso principal de aire fresco a mina el cual permite un caudal de aire fresco de 57 800 cfm, y tiene un área promedio de 12,3 m<sup>2</sup> y tiene una temperatura promedio de 6,4°C y una humedad relativa de 30,9%.



Figura 26. BM Nv. 435 (Oroya) de CMCSA.

#### **4.1.4 Salida de aire viciado de mina**

CMCSA cuenta en la actualidad con tres puntos de salida de aire en los cuales se encuentran instalados ventiladores axiales en cada una de ellas en los sectores cuerpos y Oroya.

Tabla 20

*Levantamiento de salida de aire viciado a julio de 2019*

Punto de salida	Nivel	Zona	Velocidad (m/min)	Área (m <sup>2</sup> )	Temperatura promedio (°)	Humedad relativa (HR) (%)	Caudal (cfm)
	10	Cuerpos	540,73	11,45	25,8	83,8	
RB 131	14	Cuerpos	244,93	13,54	26,1	87,5	359 151
	18	Cuerpos	101,93	6,50	21,8	81,6	
	13	Cuerpos	556,95	0,86	24,6	86,9	
RB 593	13	Cuerpos	283,73	16,65	24,0	82,5	140 980
	14	Cuerpos	78,27	14,16	25,8	76,3	
	18	Cuerpos	10,07	10,43	24,6	75,1	
RB araña		Oroya	1112,27	1,77	14,6	78,4	69 412
Total de salida de aire viciado:							569 543

#### - Ventiladores principales

Se tiene instalado dos ventiladores, uno ventilador principal de 150 00 cfm de marca Airtec, modelo VAV 66.30-1750-II-B y otro ventilador de 60 000 cfm, modelo 45.26.5-1750-II-A.

#### **RB 131 superficie**

Diámetro 3,1 m

De superficie a Nv. 18

#### **Ventilador principal**

Código: 109.110

Condición: extractor

#### **Ventilador axial COD 109 y 110**

Marca: Airtec

Modelo: VAV-66-30-1750-II-B

Caudal: 150 000 cfm

Presión total: 12,3" CA;3064 Pa @ 4 800 msnm

Potencia del motor: 375 HP @ 4 800 msnm

RPM: 1750

Temperatura: 21°C

### **Parámetros actuales**

Cantidad: dos

Caudal: 359 151 cfm

Presión estática: 4,8" CA; 1196 Pa @ 4 800 msnm

Presión total: 6,0" CA; 1495 Pa @ 4 800 msnm

Corriente: 275 amperios



*Figura 27.* Ventilador principal COD 109. 110 RB 131 de CMCSA.



*Figura 28.* Presión estática, ventilador COD 109 de CMCSA.

### **RB 593 superficie**

Diámetro 2,1 m

De superficie a Nv. 18

### **Ventilador principal**

Código: 100

Condición: extractor

### **Ventilador axial COD 100**

Marca: Airtec

Modelo: VAV-66-30-1750-II-B

Caudal: 150 000 cfm

Presión total: 12,3" CA; 3064 Pa @ 4 800 msnm

Potencia del motor: 375 HP @ 4 800 msnm

RPM: 1750

Temperatura: 21°C

### **Parámetros actuales**

Caudal: 140 980 cfm

Presión estática: 6,7" CA; 1669 Pa @ 4 800 msnm

Presión total: 9,1" CA; 2267 Pa @ 4 800 msnm

Corriente: 275 amperios



*Figura 29. Ventiladores principales COD 100 de CMCSA.*



Figura 30. Presión estática, ventilador COD 100 de CMCSA.

#### 4.1.5 Requerimiento de aire total ( $Q_t$ )

La demanda total de aire se calculó de la siguiente manera:

$$Q_t = Q_{tl} + Q_{fu}$$

Donde:

$Q_t$  = Caudal total de aire de operación

$Q_{tl}$  = Sumatoria de caudal requerido por:

- El número de trabajadores ( $Q_{tr}$ )
- El consumo de madera ( $Q_{ma}$ )
- Temperatura en labores de trabajo ( $Q_{te}$ ), y
- Equipos con motor petrolero ( $Q_{hp}$ )

$$Q_{tl} = Q_{tr} + Q_{ma} + Q_{te} + Q_{hp}$$

##### - Caudal requerido de trabajadores ( $Q_{tr}$ )

$$Q_{tr} = F \times N, \text{ en m}^3/\text{min}$$

$$Q_{tr} = 430 \times 6 = 2\,580 \text{ m}^3/\text{min} = 91\,110 \text{ cfm}$$

$$Q_{tr} = 91\,110 \text{ cfm}$$

##### - Caudal requerido por el consumo de madera ( $Q_{ma}$ )

$$Q_{ma} = T \times u, \text{ en m}^3/\text{min}$$

$$Q_{ma} = 155 \times 0,6 = 93 \text{ m}^3/\text{min} = 3\,284 \text{ cfm}$$

$$Q_{ma} = 3\,284 \text{ cfm}$$



- **Caudal requerido por temperatura en labores de trabajo ( $Q_{tr}$ )**

$$Q_{tr} = V_m \times A \times N, \text{ en m}^3/\text{min}$$

$$Q_{tr} = 30 \times 20,25 \times 2 = 1\,215 \text{ m}^3/\text{min} = 42\,907 \text{ cfm}$$

$$Q_{tr} = 42\,907 \text{ cfm}$$

- **Caudal requerido por equipo con motor petrolero ( $Q_{hp}$ )**

$$Q_{hp} = 3 \times \text{HP} \times D_m \times F_u, \text{ en m}^3/\text{min}$$

$$Q_{hp} = 21\,108 \text{ m}^3/\text{min} = 745\,405 \text{ cfm}$$

$$Q_{hp} = 745\,405 \text{ cfm}$$

- **Caudal requerido por fugas ( $Q_{fu}$ )**

$$Q_{fu} = 15\% \times Q_{tl}, \text{ en m}^3/\text{min}$$

$$Q_{fu} = 15\% \times (2\,580 + 93 + 1\,215 + 21\,108) = 15\% \times 24\,996 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{fu} = 3\,748 \text{ m}^3/\text{min} = 132\,406 \text{ cfm}$$

- **Requerimiento total**

$$Q_t = Q_{tl} + Q_{fu}$$

$$Q_t = 882\,708 + 132\,406 = 1\,015\,113 \text{ cfm}$$

$$\mathbf{Q_t = 1\,015\,113 \text{ cfm}}$$

- Balance de aire a julio de 2019

Tabla 21

*Balance total de aire a julio del 2019*

Ítem	Caudal de aire (cfm)
Ingreso de aire	538 009
Salida de aire	569 543
Diferencia	34 534
Requerimiento	1 015 113
Cobertura	53%

#### 4.1.6 Planeamiento de ventilación

### - Planeamiento de minado y ventilación

En la actualidad se tiene una producción de 150 000 TMS/mes entre los sectores Cuerpos Esperanza y Oroya.

Tabla 22

#### *Producción de mineral por sectores*

Zonas	Producción de mineral (TMS/mes)	Avances lineales (m/mes)
Cuerpos	124 500	1 772
Esperanza	17 500	517
Oroya	8 000	552
Total:	150 000	2 841

CMCSA se encuentra interconectada entre los tres sectores: Cuerpo, Esperanza y Oroya, por lo que se calculó el volumen de materiales (mineral + desmonte) que se mueve por mes para determinar el porcentaje de participación de cada zona.

Tabla 23

#### *Porcentaje de participación por zona*

Zona	Producción (TMS)	Producción* (m3)	Avances* (m3)	Volumen total (m3)	% de participación
Cuerpos	124 500	56 226	22 381	78 607	79
Esperanza	8 000	3 613	4 711	8 324	8
Oroya	17 500	7 903	4 977	12 880	13
	150 000	67 742	32 070	99 812	100

\*Volumen esponjado

### - Demanda de ventilación por sectores

Una vez determinado la participación del movimiento del volumen de materiales y estimado la demanda total del yacimiento, se estimó el requerimiento por sectores.

Tabla 24

*Requerimiento de ventilación por sectores*

Sector	Requerimiento de ventilación (cfm)
Cuerpos	799 456
Esperanza	84 661
Oroya	130 995
Total:	1 015 113

- **Sistema de ventilación principal**

Como nuestro propósito es incrementar la cobertura actual de 53% al 97% mediante las siguientes acciones de desarrollo y adquisición:

Tabla 25

*Proyección de ingreso y salida de aire, resumen de la red del sistema*

Ítem	Requerimiento
Flujo de aire compresible	: Si
La presión de ventilación natural	: Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	: Método de la presión total
Conductos de ventilación	: 17822 y 1 Exclusión
Longitud total	: 269 343,6 m
Caudal de aire total de escape	: 1 037 377 cfm
Flujo de masa total	: 384,53 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	: 0,00916 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>
Resistencia de la mina (incluyendo el ducto)	: 0,01297 Ns <sup>2</sup> /m <sup>8</sup>

Para el logro de este propósito es necesario efectuar una serie en los tres sectores como:

) **Cuerpos**

De la producción total de CMCSA el 79% es el aporte de Cuerpos, para el cual la demanda de aire es:

Tabla 26

*Requerimiento de flujo de aire para Cuerpos*

Zona	Requerimiento de aire (cfm)
Cuerpos	799 456

Para el desarrollo del plan de ventilación se calculo el volumen de ventilación para las tres zonas:

Tabla 27

*Requerimiento de flujo de aire por zonas del sector cuerpos*

Zona	Mineral (TMS)	Mineral* (m3)	Desmonte* (m3)	Volumen total (m3)	% de participación	Requerimiento (cfm)
Alta	30 500	13 774	4 456	18 230	23	185 402
Intermedia	41 500	18 742	9 391	28 133	36	286 124
Baja	52 500	23 710	8 534	32 244	41	327 931
Total:	124 500	56 226	22 381	78 607	100	799 456

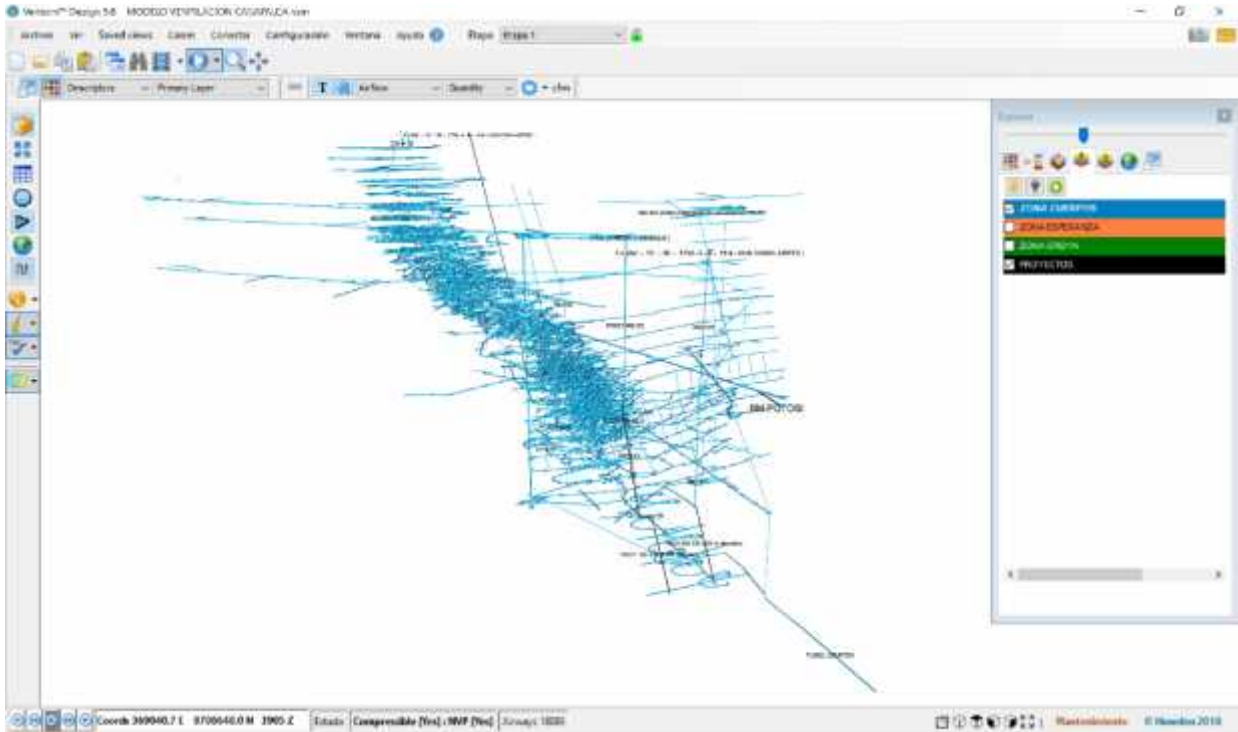


Figura 31. Isométrico de ventilación de cuerpos de CMCSA.

### Zona alta

En el circuito principal de extracción no hay problemas relevantes debido a la succión de los ventiladores: 100, 109 y 111.

En esta zona no hay un circuito principal de extracción independiente, que permite extraer el aire viciado de las zonas intermedias y baja. Ante esto se plantea efectuar:

- ❖ Desarrollo del proyecto RB 01 de un diámetro 2,4 m (8') desde superficie al Nv. 02.
- ❖ Reubicación e instalación en el RB 01 (proyecto) del ventilador 100 de 150 000 cfm actualmente instalado en el RB 593 (superficie).
- ❖ Reubicación e instalación de 1 ventilador de 60 000 cfm en el RB 593 (superficie) que se encuentra actualmente en el XC 543 SE Nv. 13 (conexión al RB 600).

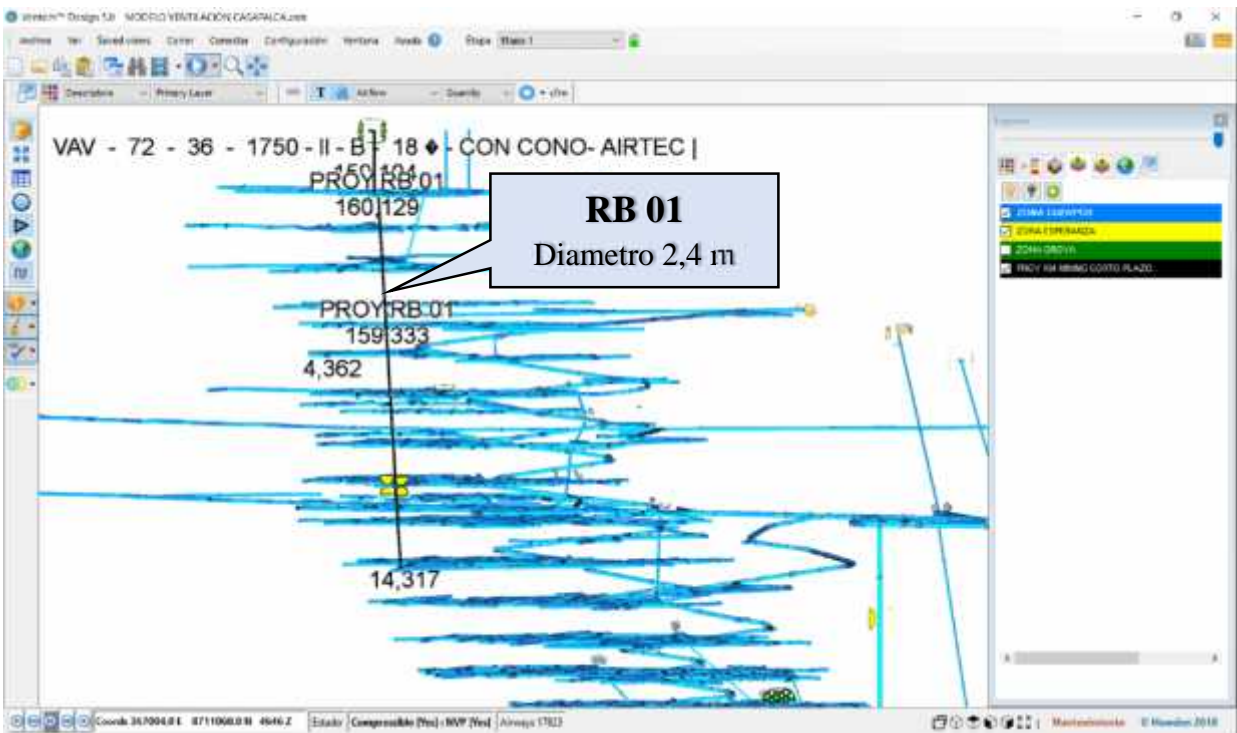


Figura 32. Ubicación del proyecto RB 01 de CMCSA.

### Zona intermedia y baja

- ❖ En esta zona no existe problemas relevantes debido a la succión de los ventiladores 100, 109 y 111. Pero al igual que la anterior, no cuenta con un circuito principal de extracción independiente que permita extraer el aire viciado a superficie sin tener que reducir la extracción del aire viciado de estas dos zonas intermedia y baja.
- ❖ Operación de dos ventiladores de 60 000 cfm instalados en paralelo en el XC 546 SE que conecta al RB 600 Nv. 13 que opera en serie con el ventilador de 100 en superficie, el cual reduce el volumen de extracción del aire de éste ventilador de los niveles inferiores.

- ❖ La extracción actual de 23 407 cfm por el RB 131, es insuficiente para cubrir la demanda actual de la zona por falta de succión de los ventiladores principales, debido a la actual distribución de aire viciado en los niveles 10 y 14, por estos puntos se extraen 335 744 cfm, que representa el 93% de la capacidad actual de los ventiladores indicados ubicados en superficie y el 7% del nivel 18.
- ❖ La velocidad del aire en la rampa es baja debido a la falta de capacidad de succión del aire viciado, lo que genera saturación de los gases contaminantes y el calentamiento del área.
- ❖ Por lo que es necesario el desarrollo del proyecto RB 02 de un diámetro de 3,6 m (12') desde superficie hasta el nivel 10 y se conectará con el actual RB 338 para incrementar la succión del aire viciado desde el nivel 18, el cual permitiría incrementar la velocidad del aire en la rampa.

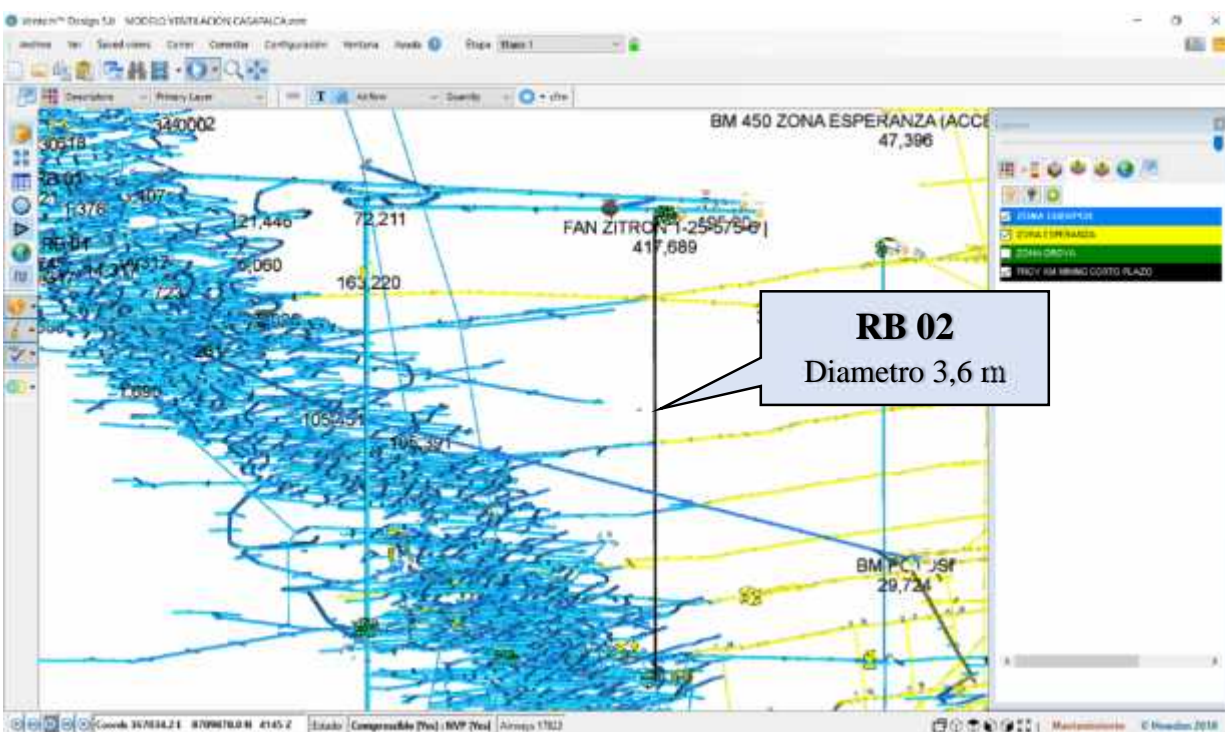


Figura 33. Ubicación del proyecto RB 02 en CMCSA.

Para ello es necesario adquirir e instalar de un ventilador axial de las siguientes características:

Tabla 28

*Características técnicas del ventilador axial a adquirir*

Marca	: Zitron
Modelo	: ZVN 1-25-575/6
Caudal	: 350 000 cfm
Presión tota	: 9,37" CA2334 Pa @ 4 500 msnm
Potencia del motor	: 575Kw @ 4 500 msnm
Velocidad	: 1 200rpm
Frecuencia	: 60 Hz
Temperatura	: 20°C

Siendo también necesario ampliar la sección del crucero 270 NW al RB 131 (10') de 2,5 m x 2,5 m a una sección de 4 m x 4 m.

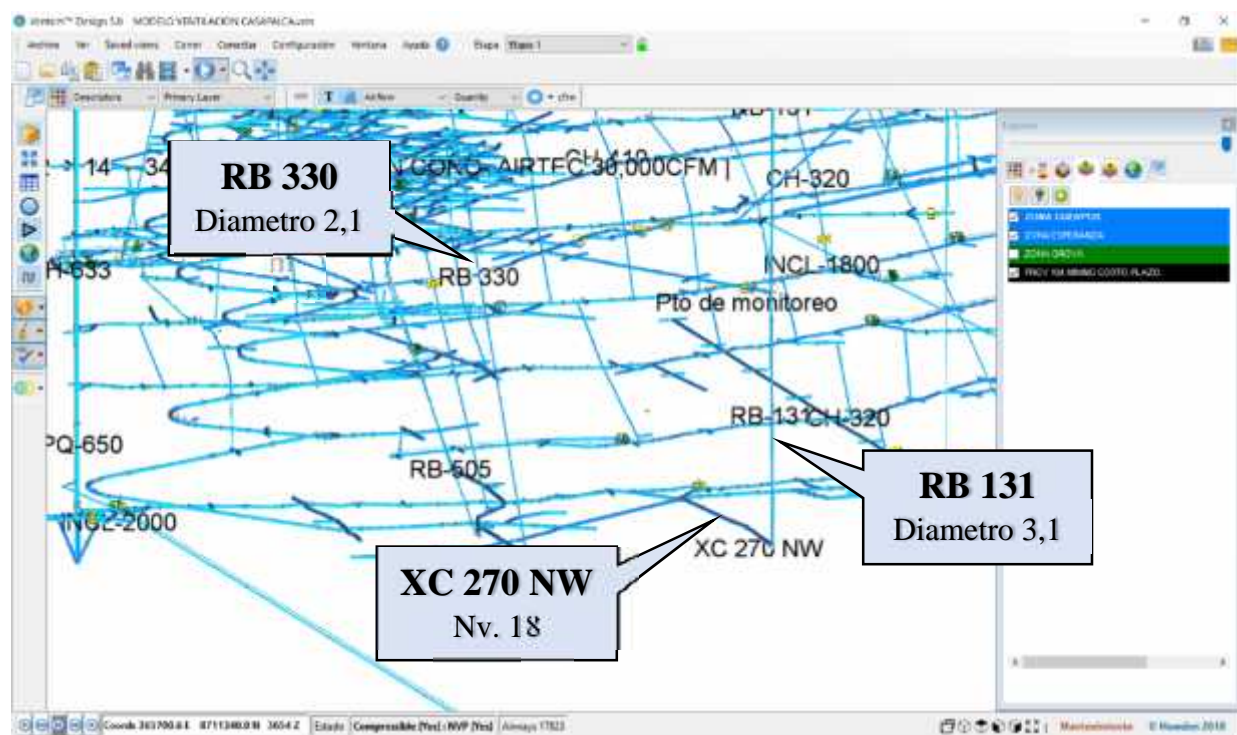


Figura 34. Ampliación de XC 270NW, nivel 18 Zona de Cuerpos de CMCSA.



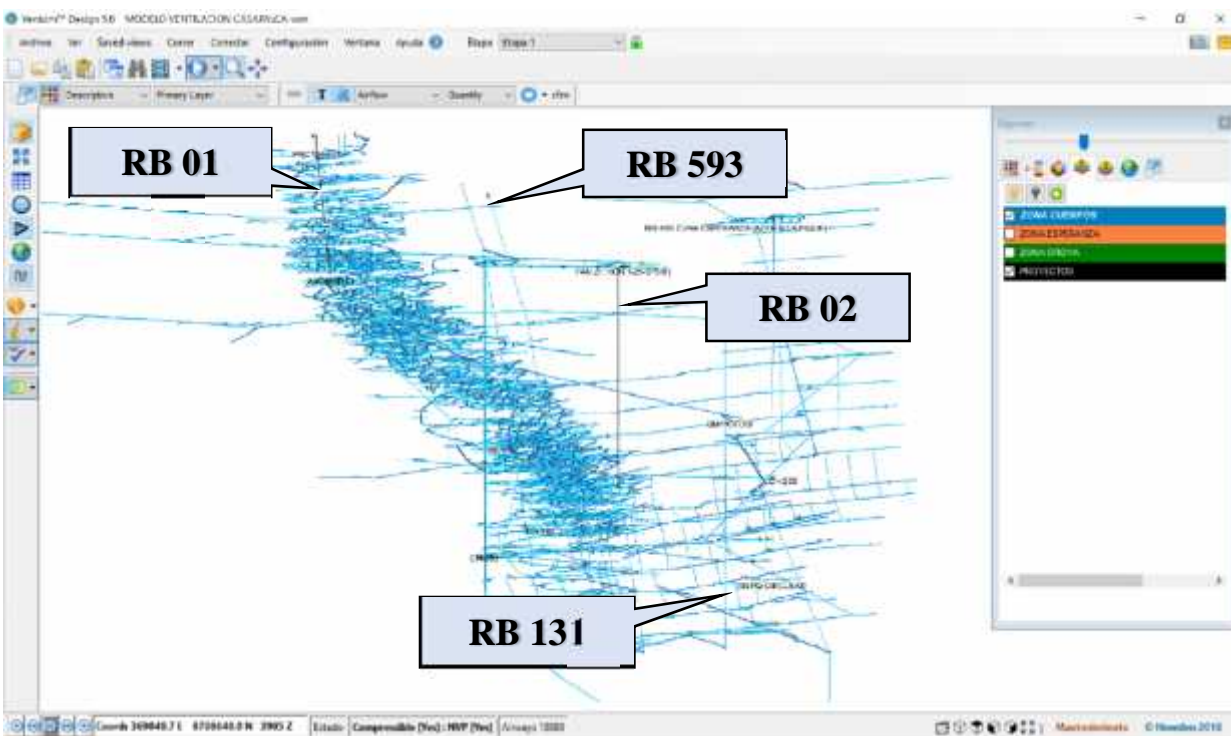


Figura 35. Ubicación de proyecto RB actual y proyectados RB 01 y RB 02 de CMCSA.

## 4.2 Análisis e interpretación de los datos

### 4.2.1 Parámetros de operación de ventiladores principales actuales y propuestos

#### A. RB 131 (superficie)

Se debe mantener la salida del aire viciado a través de la extracción principal 109, y 110 de 150 000 cfm cada uno, por este punto se estima el caudal de salida de 268 158 cfm y una presión total de 2 292 Pa (9,2" CA).

Los ventiladores actuales 109 y 110 tienen una capacidad de 150 000 cfm y presión total de 3 064 Pa (12,3" CA) a 4 500 msnm.

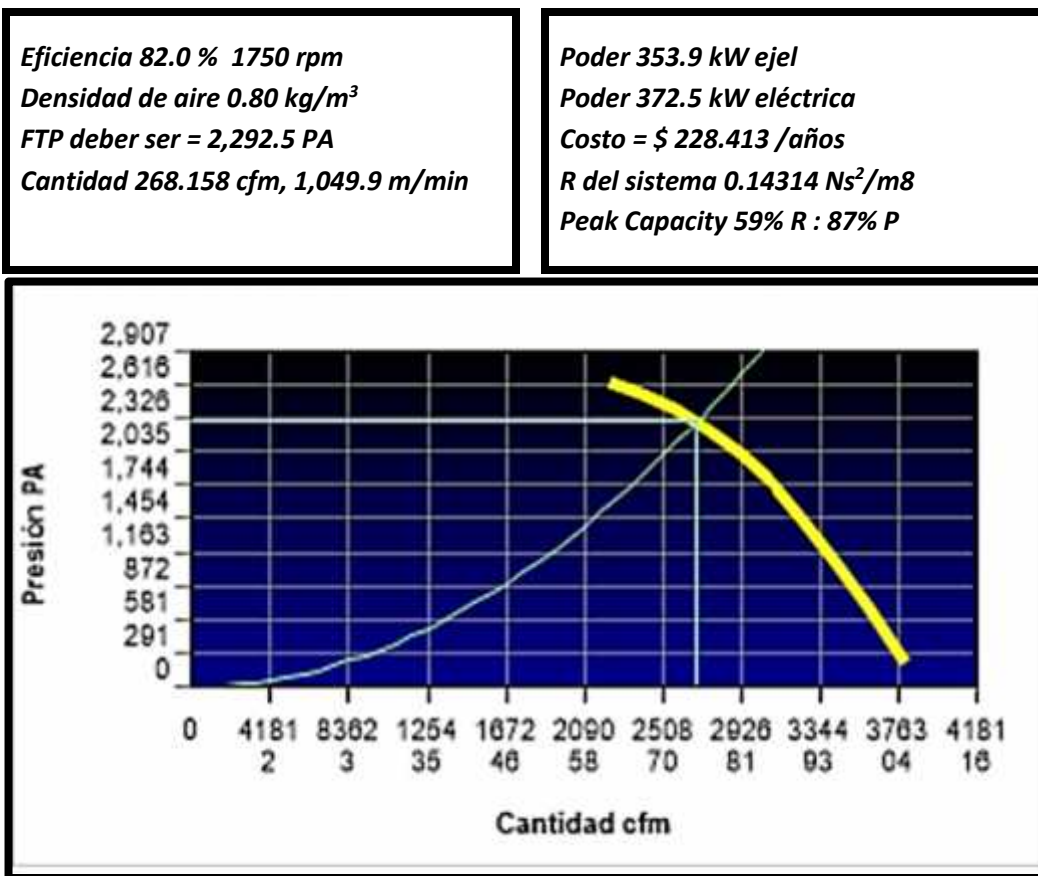


Figura 36. Parámetros de operación estimada VAV 150 000 cfm.

## B. RB 593

Después de desarrollar la excavación del RB 02 (proyecto) de 3,6 m de diámetro e instalar un ventilador de 350 000 cfm reemplazar el ventilador 100 de 150 000 cfm por otro de 60 000 cfm de capacidad, se estima que el caudal de salida sea de 72 767 cfm y una presión total 1 246 Pa (4,9" CA); actualmente el ventilador está ubicado en el nivel 13 el cual tiene una capacidad de 60 000 cfm y presión total de 2 665 Pa (10,7" CA) a 4 500 msnm.

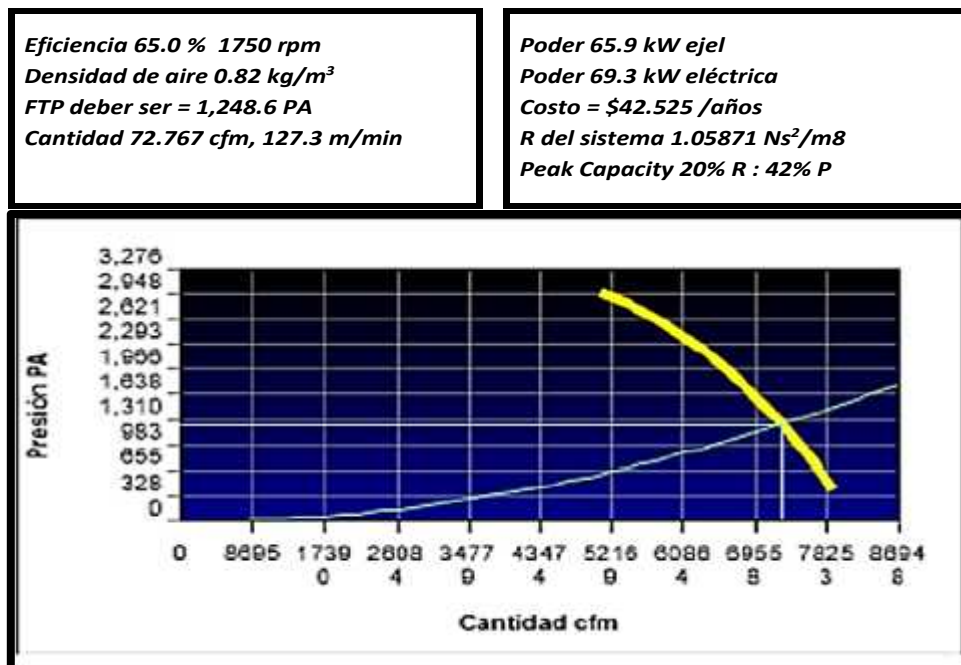


Figura 37. Parámetros de operación estimada ventilador principal, capacidad 60 000 cfm.

**C. Proyecto RB 01 (diámetro de 8')**

Después de desarrollar el RB 01 (proyectado) de 2,4 m de diámetro, se debe instalar un ventilador de 150 000 cfm ubicado actualmente en el RB 593 (superficie), se estima que el caudal de salida es de 161 308 cfm y una presión total de 1 511 Pa (6,1" CA).

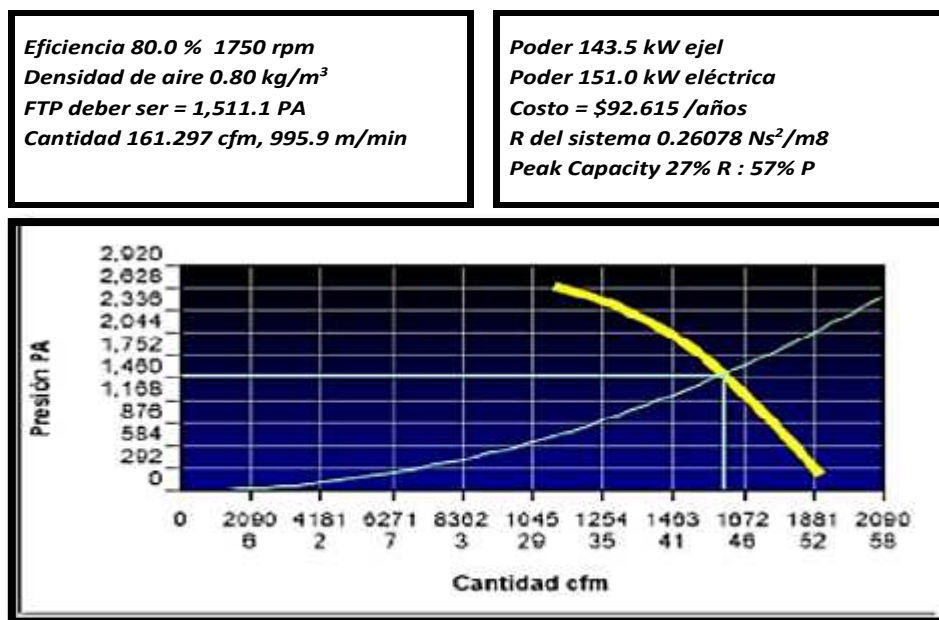


Figura 38. Parámetros de operación estimada ventilador 100, capacidad 150 000 cfm.

### D. Proyecto RB 02 (diámetro de 12')

Finalizado el desarrollo del RB 02 (proyectado) de 3,6 m de diámetro, se debe instalar un ventilador de 350 000 cfm (nuevo), se estima que el caudal de salida sea de 421 540 cfm y una presión total de 1 447 Pa (5,8" CA).

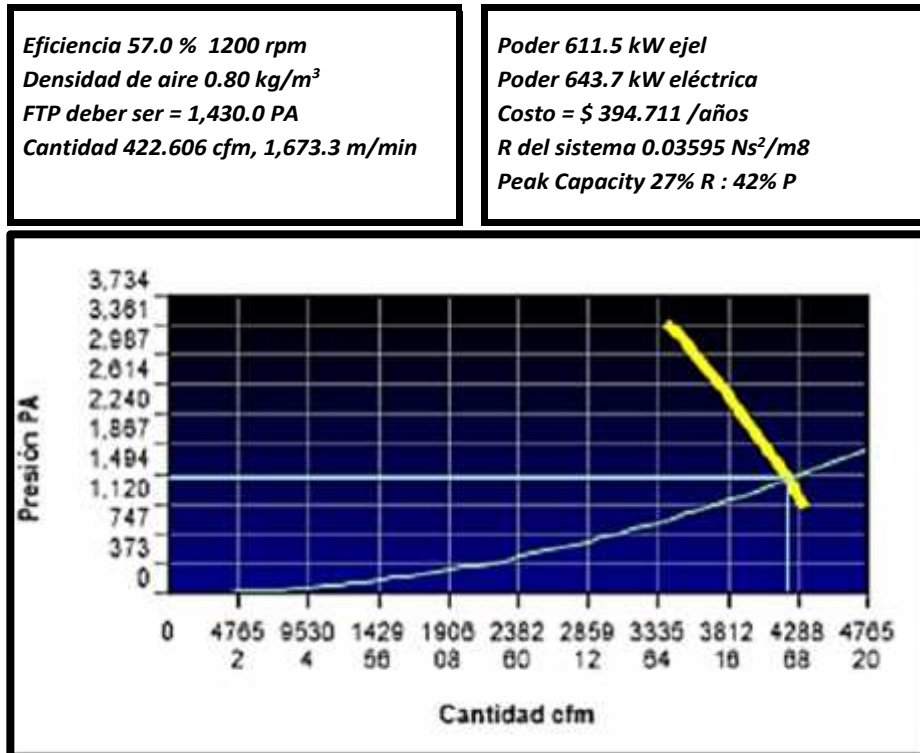


Figura 39. Parámetros de operación estimada ventilador 100, capacidad 150 000 cfm.

#### 4.2.2 Cobertura estimada

Las acciones planteadas en este estudio como el desarrollo de dos raice boring, adquisición de un ventilador de 350 000 cfm, y reubicar los ventiladores principales descritos anteriormente, permitirá un incremento de la capacidad del sistema de ventilación principal a 969 298 cfm.

Tabla 29

*Balance de aire proyectado*

Ítem	Caudal de aire (cfm)
Ingreso de aire	985 990
Salida de aire	1 053 754
Diferencia	67 764
Requerimiento	1 015 113
Cobertura:	97%

#### 4.2.3 Presupuesto en equipos, montaje electromecánico y civil

El presupuesto estimado para la implementación de este estudio será:

Tabla 30

*Estimación del presupuesto para esta mejora de ventilación*

Ítem	Capacidad	Cantidad	Precio unitario (US\$)	US\$
Equipo				261 000
Ventilador principal de 350 000 cfm		1	200 000	150 000
- Presión total	2335 Pa			
- Potencia del motor	575 Kw			
- Velocidad	1200 RPM			
- Tablero de arranque suave	575 Kw	1	50 000	50 000
- Cono de descarga		1	7 000	7 000
- Cono de succión		1	7 000	7 000
- Variador de velocidad	600 Kw	1	40 000	40 000
- Transporte				1 500
- Montaje e instalación				145 000
- Movimiento de tierra		1	20 000	15 000
- Obras civiles		1	50 000	50 000
- Lozas y bases de concreto		1	20 000	20 000
- Sala del tablero de control		1	30 000	30 000
- Subestación eléctrica		1	80 000	80 000

Total: **407 500**

#### 4.2.4 Construcción de chimenea con raise boring

##### A. Características de la chimenea RB 02

Esta chimenea tendrá las siguientes características:

Tabla 31

*Características básicas de Chimenea RB 02*

Descripción	Angulo	Diámetro (m)	Longitud total (m)	Tipo de roca
Chimenea RB 02	80°	3,60	502,4	Arenisca silicificada y calcárea

Para la ejecución de la chimenea RB 02 se utilizará SBM 800 cuyas características principales son:

Tabla 32

*Características técnicas del SBM 800*

<b>Capacidades:</b>	1 700 pies/520
	20 pies /6 m
Potencia total instalada	400HP/300Kw
Empuje de escariado**	1 140 000 lbf/5000 kN
Torque máximo	200 000 lbf-pie/270 KN-m
Ajuste del ángulo de perforación	45° a 90°
<b>Pesos y dimensiones:</b>	
- Ancho de máquina	7 pies y 6 pulgadas
- Altura extendida de la máquina	15 pies 2 pulgadas
- Altura de la máquina retraída	12 pies 6 pulgadas
- Máxima altura de la máquina en ángulos	15 pies 5 pulgadas
- Profundidad de la máquina	7 pies 4 pulgadas
- Peso	48 000 libras
- Tubería	286 mm x 1,5 m
<b>Cabeza rimadora</b>	3,6 m (12 pies)

La perforación del raise boring comprende dos etapas principales:

- **Perforación piloto:** La perforación se realiza en forma descendente e inicia sujetando a la broca piloto al Bit Sub, donde el hoyo piloto se perfora con la fuerza necesaria.
- **Perforación rimado:** En este caso la perforación se realiza en forma ascendente. En la cámara inferior se conecta la columna de perforación a la cabeza rimadora con el diámetro requerido.

#### 4.2.5 Costo total de la implementación de mejora

Tabla 33

*Costo total por una chimenea de 3,6 m de  $\varnothing$  x 502,4 m de longitud x 80°*

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (US\$)	Total (US\$)
Perforación de piloto de 12¼"	m	502,4	500,57	251 488,38
Perforación rimado 3,6 m	m	502,4	1 390,35	698 511,62
Movilización y recepción de obra				20 000,00
Desmovilización y entrega de obra				20 000,00
Costo por chimenea RB 02:				<b>989 999,76</b>

Tabla 34

*Costo total de implementación de mejora de ventilación*

Ítem	Costo (US\$)
Infraestructura mina	186 120,00
Equipos	262 500,00
Montaje electromecánico	145 000,00
Construcción de RB 02 (de superficie al Nv.10)	989 999,76
Ventiladora	407 500,00
Contingencia (5%)	95 555,99
Costo total del proyecto de mejora:	<b>2 086 675,75</b>

### 4.3 Prueba de hipótesis

#### 4.3.1 Prueba de la hipótesis general

Siendo la hipótesis general planteada en este estudio:

$H_1$  : El plan de mejoramiento incrementará la capacidad de ventilación en las zonas de cuerpos de Cia Minera Casapalca S.A..

$H_0$  : El plan de mejoramiento no incrementará la capacidad de ventilación en las zonas de cuerpos de Cia Minera Casapalca S.A..

En las tablas 16, 21 y 29 se muestra el requerimiento, balance total de aire al 31 de julio 2019 y el balance de aire proyectado con este estudio, donde se puede observar que:

El requerimiento total de aire de CMCSA era de 1 015 112 cfm y solo se cubría con el 53% de la necesidad total de aire. Con este estudio se demuestra que la cobertura se incrementa hasta el 97%, con lo que se demuestra la hipótesis general planteado.

Tabla 35

*Balance total de aire a octubre de 2019*

Ítem	Caudal de aire (cfm)	
	Julio 2019	Octubre 2019
Ingreso de aire	538 009	984 658
Salida de aire	569 543	951 998
Diferencia	31 534	32 661
Requerimiento	1 015 113	1 015 113
Cobertura	53%	97%

Por tanto, se acepta la hipótesis general y se rechaza la alterna.

#### 4.3.2 Prueba de la hipótesis específica

Así mismo, se probará las hipótesis específicas planteadas en este trabajo de investigación:



### **A. Prueba de la primera hipótesis específica**

$H_1$  : El cálculo del requerimiento de aire total es el necesario para conocer necesidades de aire de las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.

$H_0$  : El cálculo del requerimiento de aire total no es el necesario para conocer necesidades de aire de las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.

En la tabla 16 se muestra el requerimiento de aire necesario por zonas, para el caso de Cuerpos se tiene una necesidad de incrementar el flujo de aire fresco que es de 799 456 cfm, que representa el 78,76% del total de aire necesario, con esto se evita la recirculación de mismo con contaminantes lo que produce el incremento de la temperatura en dicha zona. Por tanto, se acepta la primera hipótesis específica y se rechaza la alterna.

### **B. Prueba de la segunda hipótesis específica**

$H_1$  : El nuevo circuito principal de extracción de ventilación optimiza la ventilación de las zona de cuerpos de la Cia Minera Casapalca S.A.

$H_0$  : El nuevo circuito principal de extracción de ventilación no optimiza la ventilación de las zona de cuerpos de la Cia Minera Casapalca S.A.

Al construir el Raise Boring (RB) 02 que tendrá un diámetro de 3,6 m y luego instalar en ella el ventilador nuevo a adquirir de 350 000 cfm, el caudal de aire viciado de salida será de 421 540 cfm, teniendo una presión de 1 447 PA que es equivalente a 5,8" CA. Con lo que se cumple también la segunda hipótesis específica planteada, rechazándose la alterna planteada.

### **C. Prueba de la tercera hipótesis específica**

$H_1$  : El diámetro de las chimenea Raise Boring 02 será el óptimo y estará en función al caudal de aire extraer en la zona de cuerpos de la Compañía Minera Casapalca S.A.

$H_0$  : El diámetro de las chimenea Raise Boring 02 será el óptimo y estará en función al caudal de aire extraer en la zona de cuerpos de la Compañía Minera Casapalca S.A.

Al construir el RB 02 de 3,6 m (12') de diámetro mejora ostensiblemente la capacidad de extracción de aire viciado de la zona ce Cuerpos, con lo que se incrementa la cobertura actual de 53% al 97%, optimizando la salida del aire contaminado. Se acepta la tercera hipótesis específica, rechazándose la alterna correspondiente.

#### **D. Prueba de la cuarta hipótesis específica**

$H_1$  : Las características y las cantidad de ventiladores axiales es el óptimo para las necesidades de la zona de cuerpos de la Cia Minera Casapalca S.A.

$H_0$  : Las características y las cantidad de ventiladores axiales no es el óptimos para las necesidades de la zona de cuerpos de la Cia Minera Casapalca S.A.

Al observar las tablas 28, 30 y 31, se concluye, que al adquirir e instalar el ventilador principal Zitron, modelo ZVN 1-25575/6 de un caudal de 350 000 cfm, propuesto en este estudio, se cubrirá al 97% de las necesidades de aire que se tiene en la zona de Cuerpos; aceptando la última hipótesis específica planteada, rechazándose de manera absoluta la hipótesis cuarta hipótesis específica planteada.

#### **4.4 Discusión de resultados**

Los resultados obtenidos en este estudio son satisfactorios, puesto que optimizaría la salida del aire viciado de la zona de Cuerpos de CMCSA para fines de octubre del presente año, desde una cobertura del 53% hasta el 97%, con lo que se lograría mejorar las condiciones de trabajo de esta zona.

Al desarrollar en el Nv. 19 el crucero e incrementando se sección a 4,5 m x 4,5 m desde la rampa de profundización a la proyección del RB 131 y desarrollar el nuevo RB 02 de 3,6 m de diámetro, se cumplirá los resultados esperados en esta empresa minera.

El costo para optimizar el actual circuito de ventilación asciende a US\$ 2 086 675,75 que es necesario invertir en la zona de cuerpos, puesto que en ella está concentrado la producción de mineral de CMCSA del orden de 124 500TMS, que representa el 79% de la producción de esta empresa minera.

## CONCLUSIONES

1. La actual infraestructura de ventilación de CMCSA no está diseñado para soportar el requerimiento de extracción de aire viciado del sector de Cuerpos, puesto que solo se cubre la necesidad en solo 53% del total de aire que se necesita para diluir los contaminantes producidos durante la extracción de mineral.
2. Los ventiladores actualmente instalados en el sector Cuerpos están por debajo de su capacidad de diseño como es en caso de los ventiladores 109 y 110 que extraen cerca de 359 151 cfm, cuando su capacidad es de 300 000 cfm a través del Raise Boring 131, no aprovechándose desde el Nv. 18 del sector Cuerpos.
3. El consumo de energía eléctrica en el sector cuerpos es elevado por diversas razones, siendo la principal que los diámetros de los RB 593, 600, que en promedio tienen un diámetro de solo 2,1 m, siendo inadecuados para las nuevas necesidades planteadas en este sector, puesto que el volumen de mineral producido en este sector es de 79% del total, estando concentrado las operaciones en este sector: Otra de las cuales del exceso de consumo eléctrico es que los ventiladores principales están instalados en serie, esto para superar la alta resistencia que se tiene en los RB de ventilación, como se observa en el RB 593 donde está instalado el ventilador 10 de 150 000 cfm, siendo apoyado por dos ventiladores adicionales de una capacidad de 60 000 cfm.
4. El costo de optimización de ventilación del sector Cuerpos asciende a US\$ 2 086 675,75, que se justifica porque en este sector se concentra el 79% de la producción diaria de minera de CMCSA.

## RECOMENDACIONES

- )] Se debe implementar un plan de expansión de infraestructura de ventilación del sector cuerpos de CMCSA, si se quiere sostener la producción diaria, en caso contrario, no será posible cumplir con los requerimientos de mineral diario de la planta concentradora.
- )] Se debe implementar este estudio de optimización en las zonas de cuerpos, el cual incrementaría la extracción de aire viciado de 53% a un 97%, con lo que se mejoraría notablemente la ventilación de esta zona de operación, mediante la construcción del RB 02 desde superficie al nivel 10, en una longitud total de 502,4 m y un diámetro de 3,6 m.
- )] Adquirir un nuevo ventilador de marca Zitron ZVN 1-25-575/6 de un caudal de 350 000 cfm, el cual tendrá una potencia de motor de 575 Kw, de una velocidad de 1 200 rpm, el cual tendrá instalado su variador de velocidad.
- )] Se debe adquirir e instalar en todo los ventiladores principales y secundarios los variadores de velocidad, el cual permitirá un ahorro del consumo eléctrico de este sector.
- )] Reubicación e instalación de un ventilador de 60 000 cfm de capacidad en el RB 593 en superficie en reemplazo del ventilador 100 actualmente instalado en el XC 543SE del Nv. 13 el cual conecta con el RB 600.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ) Castillo, Daniel. (2017). *Evaluación del sistema de ventilación de la mina El Roble*. Tesis de grado de la Escuela de Ingeniería de Minas Seccional Sogamoso, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sogamoso, Colombia.
- ) Campillos, Alberto. (2015). *Optimización y modelización del circuito de ventilación de una mina subterránea*. Tesis de grado de departamento de Ingeniería geológica y Minera, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Minas y Energía. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- ) Carabajo, Carla. (2015). *Diseño del circuito de ventilación de la zona norte de la mina Cabo de Hornos, ubicada en el distrito aurífero-polimetálico Portovelo-Zaruma*. Tesis de la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Carrera de Ingeniería de Minas, Universidad Central de Ecuador.
- ) Caxi, Yoman. (2017). *Estudio de ventilación e implementación de mejoras en el circuito de ventilación de minera Sotrami S.A. UEA Filomena-Aplicando el software Ventsim*. Tesis de grado de la Facultad de Geológica, Geofísica y Minas, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú.
- ) Colegio de Ingenieros del Perú, Capitulo de Ingenieros de Minas. (2007). *Ventilación de minas*. Curso de extensión. Lima, Perú.
- ) Córdova, Cristian. *et al.* (2011). *Caracterización del sistema de ventilación en minería subterránea*. Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- ) Decreto Supremo N° 024-2016-EM y su modificatoria D.S. N° 023-2017-EM-Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional

- ) Guillen, Cesar. (2016). *Optimización del sistema de ventilación aplicando tecnologías informáticas Minera Hemco – Nicaragua*. Tesis de grado de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- ) Huamán, Carlos. (2009). *Mejoramiento del sistema de ventilación en la zona cuerpos Compañía Minera Casapalca S.A. Unidad Americana*. Tesis de grado de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- ) López, Cipriano. (2014). *Estudio del sistema de ventilación a implementar en la ampliación de una mina metálica mediante el software Ventsim*. Departamento de Energía. Universidad Oviedo. Oviedo, España.
- ) Niño, Walter. (2015). *Influencia de la ventilación natural y forzada en el dimensionamiento del sistema de ventilación de la mina Limpe Centro-Unidad Minera Iscaycruz-provincia de Oyón-Lima*. Tesis de grado de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académica Profesional en Energía, Universidad Nacional del Santa. Chimbote, Perú.
- ) Pino, Raúl. (2018). *Metodología de la investigación*. 2<sup>da</sup> ed. Lima, Perú. Editorial San Marcos.
- ) Rivera, Rubén. (2016). *Resistencia del sistema de ventilación de labores mineras*. (diapositiva). Consulta: 10 de abril de 2019.  
[https://www.academia.edu/22119434/RSISTENCIA\\_DE\\_SISTEMAS\\_DE\\_VENTILACION\\_MINERA](https://www.academia.edu/22119434/RSISTENCIA_DE_SISTEMAS_DE_VENTILACION_MINERA).
- ) Rueda, N. (2012). *Optimización del sistema de ventilación en una mina de gran altura, Compañía Minera Raura*. Dirección de Ingeniería, MSO Industrial, Medellín, Colombia.

- J Sernageomin, zona sur. (2015). *Ventilación de minas*. Gobierno de Chile. Curanilahue, Chile.
- J Suty, Jesús. (2016). *Influencia de la ventilación mecánica en el diseño del sistema de ventilación del nivel 4955 Mina Urano SAC – Puno*. Facultad de Ingeniería de Minas, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- J Vila, Ángel. (2013). *Mejoramiento del circuito de ventilación en unidad minera Arcata mediante la ejecución del Raise Boring # 90*. Tesis de grado de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.



## **ANEXOS**

## ANEXO N° 1

Título: INCREMENTO DE CAPACIDAD DE VENTILACION EN ZONAS DE CUERPOS EN CIA MINERA CASAPALCA S.A.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	MARCO METODOLOGICO
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿Cómo mejorar el incremento de ventilación en zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Realizar un plan de mejoramiento de ventilación en zonas cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>El plan de mejoramiento incrementará la capacidad de ventilación en zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.</p>	<p><b>Variable 1:</b> Plan de mejoramiento.</p>	<p><b>Método de investigación</b> Científico analítico – sintético</p> <p><b>Tipo de investigación</b> Aplicada</p>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuánto es el requerimiento de aire total necesario para las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.?</li> <li>• ¿Cuál será el nuevo circuito principal óptimo de extracción de ventilación en las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.?</li> <li>• ¿Cuánto será el diámetro óptimo en función al caudal de aire a extraer de la chimenea Raise Boring 02 en las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.?</li> <li>• ¿Cuáles son las características y el número de ventiladores axiales óptimos a necesitar para las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.?</li> </ul>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcular el requerimiento de aire total necesario para las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.</li> <li>• Establecer el nuevo circuito principal óptimo de extracción de ventilación en las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.</li> <li>• Determinar el diámetro óptimo en función al caudal de aire a extraer de la chimenea Raise Boring 02 en las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.</li> <li>• Caracterizar y calcular el número de ventiladores axiales óptimos a las necesidades para las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El cálculo del requerimiento de aire total es el necesario para conocer necesidades de aire de las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.</li> <li>• El nuevo circuito principal de extracción de ventilación optimiza la ventilación de las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.</li> <li>• El diámetro de la chimenea Raise Boring 02 será el óptimo y estará en función al caudal de aire extraer en las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.</li> <li>• Las características y la cantidad de ventiladores axiales es el óptimo para las necesidades de las zonas de cuerpos en Cia Minera Casapalca S.A.</li> </ul>	<p><b>Dimensiones:</b> Zona alta. Zona intermedia. Zona baja.</p> <p><b>Variable 2:</b> Incremento de la capacidad de ventilación.</p> <p><b>Dimensiones:</b> Zona alta. Zona intermedia. Zona baja.</p>	<p><b>Nivel de investigación</b> Descriptivo</p> <p><b>Diseño de investigación</b> Descriptivo – explicativo</p> <p><b>Población y Muestra</b></p> <p><b>Población:</b> Estará compuesto por todas las labores subterráneas verticales y horizontales ubicadas en la zona: alta, intermedia y baja de cuerpos de la Cia Minera Casapalca S.A. y poder determinar los circuitos de ventilación.</p> <p><b>Muestra:</b> Para efectuar las simulaciones y encontrar las vías de los circuitos de ventilación de la zona de cuerpos y evitar cualquier error estadístico, la población será igual a la muestra.</p>