

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CUSCO**

FACULTAD DE INGENIERÍA: GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS.



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE
MINAS**

TÍTULO:

**“ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LAS ZONAS YURIKA
Y PABLO, HOCHSCHILD MINING - UNIDAD OPERATIVA PALLANCATA”**

Elaborado por:

Bach. Richard Mamani Condori

Asesor: Mtg. Edmundo Alarcón Cáceres

Cusco – Perú

2019

DEDICATORIA

Este trabajo de TESIS está dedicado a todas las personas que creyeron que podría lograr y cumplir mis metas trazadas a pesar de todas las dificultades que existen en el camino.

A mis padres Octavio y Aleja, a mi esposa Liz Carol y mis hijos Benjamín y Uriel a toda mi familia quienes me impulsaron a continuar para poder cumplir las metas trazadas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en especial a toda mi familia por su apoyo incondicional, a mis docentes de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por todas sus enseñanzas impartidas durante mi vida estudiantil.

A mi asesor Ing. Edmundo Alarcón Cáceres, por su impecable trabajo como asesor y guía.

INTRODUCCIÓN

En esta Tesis se realiza un **MODELO CALIBRADO EN 3D DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ZONAS DENOMINADAS “YURIKA” Y “PABLO” DE LA U.O. PALLANCATA**, con la utilización del software VentsimTM Design 5.1.

Este Software permitirá simular el sistema de ventilación actual y realizar diferentes escenarios a mediano plazo, además de los diseños de ventilación auxiliar, dando opciones para su análisis (determinar el número y tamaño de ventiladores, así como la ubicación y las dimensiones óptimas de las chimeneas) antes de su ejecución, se desea alcanzar un sistema seguro, flexible y económico, evitando de este modo gastos no programados en la ejecución de chimeneas con diámetros incorrectos, por otra parte es muy importante definir y seleccionar las zonas donde se ubicarán las labores a superficie evitando la selección e instalación de ventiladores que generen un costo que no está dentro de lo programado es decir un costo excesivo.

RESUMEN

En el capítulo I: PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACION Se mencionan aspectos fundamentales como son, la formulación del problema general lo cual determinan, los objetivos, la justificación, la hipótesis y la Operacionalización de las variables.

En el capítulo II: MARCO TEÓRICO se detalla el marco legal necesario para realizar este trabajo de tesis con un soporte adecuado, las bases teóricas necesarias para la comprensión del desarrollo del trabajo de tesis. Debido a que esta tesis se enfoca en el diagnóstico del sistema de ventilación actual para posteriormente realizar el diseño y diagnóstico de los posibles sistemas de ventilación proyectados por lo cual se desarrolla los aspectos básicos de ventilación de minas subterráneas, se menciona el marco contextual, el marco conceptual y la geología de la zona de estudio.

En el capítulo III: PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE INFORMACION se desarrolla a detalle el procedimiento utilizado para el registro del sistema de ventilación de campo que es la velocidad y geometría del caudal de flujo de aire en los diferentes frentes de trabajo en mina subterránea. Después se desarrolla el modelamiento del sistema de ventilación actual en el software VentsimTM Design 5.1. y se enfoca en el funcionamiento del sistema de ventilación actual. Luego se ejecuta el modelamiento de las 4 alternativas de ventilación en las cuales se realiza la integración del sistema de ventilación de las zonas de explotación en los diferentes frentes de trabajo en las zonas Pablo y Yurika mediante la realización de Raise Climber (RC) y Raise Boring (BR), la colocación de ventiladores en paralelo y serie, se describe su operatividad y desempeño para cubrir el caudal óptimo para una buena ventilación.

En el capítulo IV: ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS se analiza y estudia el desempeño de las 4 opciones y/o alternativas de ventilación desde el punto de vista de la cantidad de caudal de flujo de aire que aportarán al sistema de ventilación y desde el punto de vista económico con el análisis de OPEX (Costos de operación) y CAPEX (Costos de inversión).

Una vez realizado el estudio y la comparación de las diferentes alternativas se continúa con las conclusiones y recomendaciones de todo el trabajo de Tesis.

ÍNDICE

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.....	xiv
TERMINOLOGIA.....	i
CAPITULO I	1
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACION.....	1
1.1 Descripción De La Realidad Problemática.....	1
1.1 Formulación del Problema.....	2
1.1.1 Problema General.....	2
1.1.2 Problema específico.....	2
1.2 Objetivos de la Investigación.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Justificación del Estudio.....	3
1.4 Alcances y Limitaciones de la Investigación.....	3
1.4.1 Alcances de la Investigación.....	3
1.4.2 Limitaciones de la Investigación.....	4
1.5 Importancia de la Investigación.....	4
1.6 Hipótesis.....	5
1.7 Variables e Indicadores.....	5
1.8 Tipo de Investigación.....	7
1.10 Población y Muestra.....	7
1.11 Matriz de Consistencia.....	8
CAPITULO II.....	9
MARCO TEÓRICO.....	9
1.12 ANTECEDENTES DE INVESTIGACION.....	9
2.1 MARCO LEGAL.....	10
2.2 BASES TEORICAS.....	15
2.2.1 Flujo De Aire En Aberturas Mineras Y Ductos.....	15
a) Gases De Mina.....	16
b) Contaminantes.....	17
c) Ventilación Natural.....	17
d) Curva Característica del Ventilador.....	18
2.2.2 Acoplamiento de Ventiladores.....	20
a) Trabajo en Serie de Dos Ventiladores.....	21

b) Trabajo en Paralelo de Dos Ventiladores.....	21
2.2.3 Pérdidas de Carga Circuito de Ventilación	22
a) Pérdidas por Fricción	22
b) Pérdidas por Choque	23
c) Pérdidas por Presión Dinámica.....	24
d) Factor de Fugas en Conductos de Ventilación.....	24
2.2.4 VENTILADORES	25
2.2.4.1 Clasificación de los ventiladores	26
a) Ventilador Centrifugo.	26
b) Ventilador De Hélice	27
c) Ventilador axial.....	27
2.3 MARCO CONCEPTUAL	29
2.4 MARCO CONTEXTUAL	30
2.4.1 Ubicación	30
2.4.2 Accesibilidad.....	30
2.4.3 Clima	32
2.5 GEOLOGIA.....	32
2.5.1 CONFIGURACION REGIONAL	32
2.5.2 TIPOS DE DEPÓSITO	37
2.4.5 MINERALIZACIÓN	38
2.4.6 RESERVAS DE MINERAL.....	41
2.4.7 RESEÑA HISTORICA	41
2.5 Método de Explotación	43
2.5.1 Corte y Relleno Semimecanizado en la Zona Yurika	43
2.5.1.1 Ciclo de minado – Cut and Fill.....	45
2.5.1.2 Diseño de bloques.....	45
a) Largo y ancho del bloque.....	45
b) Altura del bloque.....	46
c) Diseño de bloques internos	46
2.5.1.3 Labores de preparación.....	46
a) Pivotes.....	46
b) Desarrollos de producción	46
c) Secuencia de explotación	47
d) Relleno	47
e) Perforación y tronadura de producción CF.....	48

2.5.2	Bench and Fill en la Zona Pablo	48
2.5.2.1	Ciclo de Minado – Bench and Fill.....	50
a)	Diseño de bloques	50
b)	Ancho de cámaras de explotación.....	50
2.5.2.2	Labores de preparación bench and fill.....	51
a)	Nivel de producción.....	51
b)	Galería de transporte.....	51
c)	Estocadas de extracción:.....	51
d)	Nivel superior de Perforación	52
e)	Pivotes de acceso	52
f)	Secuencia de explotación	52
g)	Perforación y tronadura.....	52
h)	Relleno	53
	Relleno seco	53
2.5.3	FUERZA LABORAL	54
	CAPITULO III.....	55
	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	55
3.1	METODOLOGÍA DEL TRABAJO	55
3.2	SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	56
3.3	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA U.O. PALLANCATA.....	56
3.3.1	ZONA PABLO.....	56
3.3.2	ZONA YURIKA	56
3.4	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	57
3.5	SISTEMA DE VENTILACION ACTUAL.....	57
3.5.1	ZONA “PABLO”	57
a)	AFORO DE CAUDALES	57
3.5.2	Calculo de cobertura.....	58
3.5.2.1	Requerimiento de Caudal de Aire para Labores de Desarrollo.	58
a)	Requerimientos de aire para Personal (Q_{Tr}).....	59
b)	Requerimiento de aire para Equipos a petróleo (Q_{Eq}).....	59
c)	Requerimiento de caudal por consumo de madera (Q_{Ma})	60
d)	Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (Q_{Te})	61
a)	Caudal requerido por fugas (Q_{Fu})	62
b)	Requerimiento.....	63
b)	Cobertura.....	63

3.5.3	ZONA “YURIKA”	64
a)	Aforo De Caudales.....	64
3.5.4	Calculo de cobertura.....	65
3.5.4.1	Requerimiento de Caudal de Aire para Labores de Desarrollo.	65
e)	Requerimientos de aire para Personal (Q_{Tr}).....	65
f)	Requerimiento de aire para Equipos a petróleo (Q_{Eq}).....	66
e)	Caudal requerido por fugas (Q_{Fu})	67
f)	Requerimiento.....	68
b)	Cobertura.....	69
3.6	Diagnóstico Modelo Ventsim™ Actual.....	69
3.7	Modelamiento De Las Zonas “Yurika” Y “Pablo”	70
3.7.1	Parámetros Ambientales.....	74
3.7.2	Resumen De La Red Actual	74
3.7.3	Distribución De Pérdidas De Energía	75
3.7.4	Curva Característica De Resistencia Mina.....	77
3.7.5	CORRELACIÓN DE AFORO – INGRESOS Y SALIDAS DE AIRE.....	79
a)	Zona “Pablo”	79
b)	Zona “Yurika”	80
c)	CORRELACIÓN DE ESTACIONES SECUNDARIAS	81
i.	ESTACIONES SECUNDARIAS – ZONA “PABLO”	81
ii.	ESTACIONES SECUNDARIAS - ZONA “YURIKA”	89
b.	POTENCIA ELÉCTRICA INSTALADA.....	90
c.	COSTO DE ENERGÍA	91
3.8	SISTEMA DE VENTILACION PROYECTADO A MEDIANO PLAZO	92
3.8.1	Calculo de cobertura.....	92
3.8.1.1	Requerimiento de Caudal de Aire para Labores de Desarrollo.	92
a)	Requerimientos de aire para Personal (Q_{Tr}).....	93
b)	Requerimiento de aire para Equipos a petróleo (Q_{Eq}).....	94
c)	Requerimiento de caudal por consumo de madera (Q_{Ma})	94
d)	Caudal requerido por temperatura en las labores de trabajo (Q_{Te})	95
e)	Caudal requerido por fugas (Q_{Fu})	96
f)	Requerimiento.....	97
3.9	DISEÑO DE ESCENARIOS A MEDIANO PLAZO	97
3.10	DISEÑO DE NUEVOS EJES.....	103
3.10.1	ALTERNATIVA 01.....	106

3.10.2	ALTERNATIVA 02.....	109
3.10.3	ALTERNATIVA 03.....	112
3.10.4	ALTERNATIVA 04.....	115
	CAPITULO IV.....	119
	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	119
4.1	Resumen General de Alternativas.....	119
4.2	Selección del Diámetro Óptimo Mediante Simulación en Ventsim	120
4.3	Costos de inversión	122
a)	Alternativa 01.....	122
b)	Alternativa 02.....	124
c)	Alternativa 03.....	126
d)	Alternativa 04.....	128
4.4	Análisis Económico – (TRADE Off).....	130
	CAPEX	130
	OPEX	131
4.5	Costo De Ventilación.....	132
4.6	Caudal	134
4.7	Potencia.....	134
4.7.1	Costo Anual.....	134
4.7.2	Costo Unitario de energía.....	135
4.7.3	Comparación de sistema de ventilación actual con alternativa elegida.	135
	CONCLUSIONES	136
	RECOMENDACIONES.....	138
	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	139

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1:	Operacionalización de las variables.....	6
Cuadro 2:	Reservas atribuibles a diciembre del 2018 - Unidad Minera Pallancata	41
Cuadro 3:	Diferencia ingresos y salidas de aire Zona “Pablo”	54
Cuadro 4:	Diferencia ingresos y salidas de aire Zona “Pablo”	54
Cuadro 5:	Resumen de ingreso de aire Zona “Pablo”.....	57
Cuadro 6:	Resumen de salida de aire Zona “Pablo”	58
Cuadro 7:	Diferencia ingresos y salidas de aire Zona “Pablo”	58
Cuadro 8:	Personal que ingresa a mina	59
Cuadro 9:	Requerimiento de caudal para equipos a petróleo.....	60
Cuadro 10:	Velocidad mínima para una temperatura dada	61
Cuadro 11:	Calculo de requerimiento de caudal por temperatura	61
Cuadro 12:	Requerimiento para gases de voladura	62

Cuadro 13. Resumen de requerimiento de aire Zona “Pablo”	63
Cuadro 14. Resumen cobertura de aire Zona “Pablo”	63
Cuadro 15. Resumen de ingreso de aire Zona “Yurika”	64
Cuadro 16. Resumen de salida de aire Zona “Yurika”	64
Cuadro 17. Diferencia ingresos y salida de aire Zona “Yurika”	64
Cuadro 18: Personal que ingresa a mina	66
Cuadro 19: Requerimiento de caudal para equipos a petróleo.....	66
Cuadro 20: Requerimiento para gases de voladura	68
Cuadro 21. Resumen de requerimiento de aire Zona “Yurika”	69
Cuadro 22. Resumen de cobertura de aire Zona “Yurika”	69
Cuadro 23. Parámetros ambientales Ventsim™ Design 5.1	74
Cuadro 24: Resumen de la red, estado actual.....	75
Cuadro 25: Correlación de ingresos de aire – Zona “Pablo”.....	79
Cuadro 26: Correlación de salidas de aire – Zona “Pablo”	79
Cuadro 27: Correlación de ingresos de aire – Zona “Yurika”	80
Cuadro 28: Correlación de salidas de aire – Zona “Yurika”	80
Cuadro 29: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4280.....	81
Cuadro 30: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4296.....	81
Cuadro 31: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4306.....	82
Cuadro 32: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4322.....	83
Cuadro 33: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4338.....	84
Cuadro 34: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4354.....	85
Cuadro 35: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4370.....	87
Cuadro 36: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4386.....	88
Cuadro 37: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4402.....	88
Cuadro 38: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4430.....	89
Cuadro 39: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4380.....	90
Cuadro 40: Resumen de potencia instalada, modelo actual.....	91
Cuadro 41: Resumen de consumo de energía US\$.	92
Cuadro 42: Personal que ingresa a mina	93
Cuadro 43: Requerimiento de caudal para equipos a petróleo.....	94
Cuadro 44. Calculo de requerimiento de caudal por temperatura	95
Cuadro 45: Requerimiento para gases de voladura	96
Cuadro 46. Resumen de requerimiento de aire Zona “Pablo”	97
Cuadro 47: Resumen del sistema – , Alternativa 01	108
Cuadro 48: Resumen de Potencia – , Alternativa 01.	109
Cuadro 49: Resumen de Potencia – , Alternativa 02.	111
Cuadro 50. Resumen de potencia – Alternativa 02.	112
Cuadro 51: Resumen de potencia – Alternativa 03.	114
Cuadro 52: Resumen de potencia – , Alternativa 03.	115
Cuadro 53: Resumen del sistema – Escenario N°01, Alternativa 04.	117
Cuadro 54: Resumen de potencia – Escenario N°01, Alternativa 04.....	118
Cuadro 55: Resumen de 04 Alternativas -, Zona Pablo.....	119
Cuadro 56. Costos unitarios de excavación por avance lineal y volumétrico.....	120
Cuadro 57. Costos de inversión - Alternativa 01	123
Cuadro 58. Costos de inversión – Alternativa 02.....	125
Cuadro 59. Costos de inversión - Alternativa 03.	127

Cuadro 60. Costos de inversión en el estado actual vs Alternativa 04.....	129
Cuadro 61. Producción actual y proyectada	130
Cuadro 62. Análisis de CAPEX.....	130
Cuadro 63: Análisis de OPEX.....	131
Cuadro 64: Análisis de Costos de Ventilación	132
Cuadro 65: Análisis de Costo de Ventilación, anualizado.....	133
Cuadro 66: Variación Porcentual de KPI Caudal	134
Cuadro 67. Variación Porcentual de Potencia	134
Cuadro 68: Variación Porcentual de KPI Costo Anual en \$.....	135
Cuadro 69: Variación Porcentual – KPI Costo unitario de energía en \$/TMS.....	135
Cuadro 70. Cuadro final comparativo	135

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de un Ventilador	19
Figura 2. Ejemplo de curvas características de un ventilador.....	20
Figura 3. Curva de dos ventiladores en serie	21
Figura 4. Curva de dos ventiladores en paralelo	22
Figura 5: Ventilador Centrifugo	27
Figura 6: Ventilador de Hélice	27
Figura 7: Ventilador Centrifugo	28
<i>Figura 8: Ubicación de mina Pallancata</i>	<i>31</i>
<i>Figura 9: Geología del área de Pallancata</i>	<i>33</i>
<i>Figura 10: Vetas de la unidad Pallancata</i>	<i>36</i>
Figura 11. Método de explotación – Corte y relleno ascendente.....	44
<i>Figura 12: Método de explotación Bench and Fill.....</i>	<i>49</i>
Figura 13: Modelo Ventsim™ Design 5.1 – Zona “Yurika”	71
<i>Figura 14. Modelo Ventsim™ Design 5.1 – Zona “Pablo”.....</i>	<i>73</i>
Figura 15: Vista Longitudinal proyectado al 2019 de acuerdo al LOM (Fuente: U.O. PALLANCATA)	98
Figura 16: Proyecto de Profundización al 2019 – “Pablo” Zona baja	100
Figura 17: Proyecto de Profundización al 2019 – “Pablo” Zona alta.....	102
Figura 18: Proyecto de mejora a Mediano Plazo.	104
Figura 19: Distancias entre labores principales de ventilación.....	105
Figura 20: Diseño de la Alternativa 01	107
Figura 21: Diseño de la Alternativa 02,	110
Figura 22: Diseño de la Alternativa 03,.....	113
Figura 23. Diseño de la Alternativa 04.....	116

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Distribución de las pérdidas de energía, estado actual.....	76
Gráfico 2. Curva de resistencia de la mina Pallancata	78
Gráfico 3: Selección del diámetro óptimo RC 05 – Método Simulación Ventsim	121
Gráfico 4: Selección del diámetro óptimo RB 04 – Método Simulación Ventsim	121

ANEXOS

ANEXO 1: Plano – Sistema de Ventilación Actual
ANEXO 2: Plano – Alternativa 1
ANEXO 3: Plano – Alternativa 2
ANEXO 4: Plano – Alternativa 3
ANEXO 5: Plano – Alternativa 4

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

Pa: Pascales, unidad de presión atmosférica del Sistema Internacional, que equivale a la presión que ejerce la fuerza de 1 newton sobre la superficie de 1 m².

H: Presión y/o caída de presión expresada en Pascales. También se usa la letra P, como símbolo.

HT: Caída de presión total (Pa).

Cfm: Pies cúbicos por minuto (Cubic Feet per Minute). Indica el flujo de aire que pasa por un punto estacionario en un minuto.

Hz: Hertz, medida de la frecuencia que se repite una onda en un segundo.

“CA: Unidad de presión, igual a la presión ejercida por una columna de agua de una pulgada de altura a temperatura estándar.

Kcfm: Abreviación de miles de pies cúbicos por minuto (Cubic Feet per Minute).

M³/s: Metros cúbicos por minuto. Indica el flujo de aire, que pasa por un punto estacionario en un segundo. 1 m³/s = 60 m³/min = 2118.88 cfm.

Q: Caudal de aire, que es la cantidad de aire que se puede desplazar por unidad de tiempo expresada habitualmente en m³/min o cfm.

RPM: Revoluciones por minuto. Medida de la cantidad de vueltas que genera el motor en el lapso de un minuto.

HR: Humedad relativa, que es la relación, en %, del contenido de vapor de agua en el aire con su contenido máximo posible a una temperatura dada.

P: Densidad del aire, que es la cantidad de masa de aire por la unidad de volumen (kg/m³, lb/ft³). **RB:**

Raise Boring (chimenea), labor minera vertical o inclinada, que comunica 2 niveles de trabajo. **RP:**

Rampa, que es un elemento arquitectónico que tiene la funcionalidad de circunvalar parcialmente dos planos distintos, de modo que éstos posean una relativa diferencia de altitud en determinado espacio. En minería es desarrollada para la accesibilidad al bloque o veta mineralizada económicamente.

BM: Bocamina, boca de una galería o pozo que sirve de entrada en la mina.

DM: Disponibilidad mecánica de los equipos Diésel, (%).

FU: Factor de utilización de los equipos Diésel, (%).

FA: Factor de corrección por altitud aplicados a los equipos Diésel, expresada en porcentaje (%).

CX: Crucero, labor minera horizontal que se realiza sobre roca estéril.

RC: Raise Climber (chimenea), labor minera vertical o inclinada, que comunica 2 niveles de trabajo. Son labores de sección circular desarrollados por sistemas de desarrollo de chimeneas mediante jaulas

TERMINOLOGÍA

Presión Dinámica (PD): Es la presión cinética en la dirección del flujo necesaria para hacer que un fluido en reposo fluya a una determinada velocidad.

Presión Estática (PE): Es la presión potencial ejercida en todas las direcciones por un fluido en reposo. Para un fluido en movimiento se mide en la dirección perpendicular a la del flujo, tendencia a dilatar o colapsar al ducto.

Factor de Corrección por Densidad: es el cociente entre la densidad real del aire en faena y la densidad del aire estándar.

Eficiencia de la Red: Es el porcentaje de cuan efectivo o proporcionado es la red de ventilación (conductos), frente al volumen de ingreso de aire fresco, impulsado mecánicamente o por ventilación natural.

Aerodinámico: Objeto cuya forma ofrece poca resistencia al aire.

Punto de Operación: El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito (P, Q), es el punto de funcionamiento del ventilador.

Resistencia de la red: Es la sumatoria total de todos los obstáculos que impiden el paso de un volumen de aire. Está en función del tamaño de la sección de la labor y de las condiciones de las paredes de éste denominados como factores de fricción y choque expresado en Ns^2/m^8 .

Presión Total (PT): Suma algebraica de las presiones estáticas y dinámicas. Los resultados se expresarán en unidades inglesas pulgadas de columna de agua ("C.A.).

CAPITULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1 Descripción De La Realidad Problemática

En el sistema de Ventilación de la U.O. Pallancata en las zonas de Pablo y Yurika presenta deficiencias en cada zona en el caudal (cfm) de aire requerido para un trabajo óptimo del personal y equipo diésel para la producción programada de la unidad; en la zona “Pablo” hay un déficit de caudal requerido en 44 % donde se tiene que dar alternativas de solución para mejorar la situación actual, en la zona “Yurika” hay un superávit en 106 % en donde se tiene que rediseñar el sistema de ventilación para que no exista eventos como este, lo que conlleva a realizar un estudio del sistema de ventilación en las zonas “PABLO” y “YURIKA” para proponer alternativas de solución para cubrir el flujo de caudal de aire necesario requerido en las operaciones de mina de la unidad, sobre todo cuando existe un déficit en la cobertura y requerimiento del caudal necesario para realizar un trabajo óptimo dentro del Marco Legal como soporte.

El caudal de flujo aire fresco que ingresa y sale en cada zona (Pablo y Yurika) presenta diferencias, esto por la recirculación del aire, sin embargo el Requerimiento y Cobertura del flujo caudal de aire fresco previa investigación y cálculos matemáticos sugieren que es necesario realizar un estudio de investigación más detallado para plantear alternativas de solución al sistema de ventilación actual, se presenta los siguientes cuadros para entender el problema en cada zona, el caudal de aire fresco ingresante y caudal de salida, la cobertura y requerimiento real de cada zona y las comparaciones de caudales de aire para plantear alternativas de solución.

1.1 Formulación del Problema

1.1.1 Problema General.

¿Por qué es deficiente el Sistema de Ventilación actual el cual no ofrece un ambiente de trabajo óptimo en la U.O. Pallancata?

1.1.2 Problema específico.

1. ¿Por qué que el Sistema de Ventilación actual y el proyectado presenta deficiencias en las zonas “Pablo” y “Yurika” de la U.O. Pallancata?
2. ¿Por qué el diseño del Sistema de Ventilación actual es irregular debido a que presenta déficit y superávit en el caudal de requerimiento de aire en la U.O. Pallancata?
3. ¿Qué alternativas de ventilación se debe proponer para lograr una ventilación eficiente en la U.O. Pallancata?

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el deficiente Sistema de Ventilación de la U.O. Pallancata y realizar el estudio y diseño del Sistema de Ventilación para determinar el caudal de aire que se requiere para una ventilación óptima.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar el estudio del sistema de ventilación de las zonas “Pablo” y “Yurika”.
2. Realizar el diseño del sistema de ventilación de las zonas “Pablo” y “Yurika”.
3. Proponer alternativas de mejora en el sistema de Ventilación de acuerdo al estudio y diseño efectuado.

1.3 Justificación del Estudio

En la cobertura y requerimiento de caudal de aire en la zona “Pablo” existe un déficit de caudal requerido para un buen funcionamiento de la operatividad en el trabajo tanto para el trabajador y equipo de combustión; cada persona necesita de un caudal necesario y obligatorio para existir y realizar sus actividades diarias más aún en operaciones mina principalmente en mina subterránea donde el trabajador tiene que ejercer sus actividades en condiciones extremas donde normalmente no existe el oxígeno adecuado para mantener el buen funcionamiento del cuerpo humano de la misma manera el equipo pesado de combustión como por ejemplo los equipos de acarreo, equipo de transporte de material, equipo auxiliar y otros equipos de combustión que estén en las operaciones en mina subterránea necesitan también del oxígeno para realizar una buena combustión y puedan ser operados con normalidad y ser productivos en conjunto trabajador y equipo.

1.4 Alcances y Limitaciones de la Investigación

1.4.1 Alcances de la Investigación

- El estudio abarcará solo el sistema de Ventilación de la U.O. Pallancata Zona “Pablo” y Zona “Yurika”.
- El análisis se efectuó en los escenarios de déficit de caudal de aire fresco que ingresa y el aire producto de la ventilación que sale de la mina (mina subterránea).

- El horizonte de estudio se consideró desde enero del 2019 hasta finales del mismo año.
- El paquete informático que se usó para la simulación será bajo el soporte del software Ventsim TM Design 5.1.

1.4.2 Limitaciones de la Investigación.

Se trabajarán con datos otorgados por la empresa HOCHSCHILD MINING U.O. Pallancata, siendo relativamente limitado el acceso a la información.

El presente estudio aportará propuestas y soluciones de carácter técnico basado solamente en simulaciones virtuales con consistencia matemática plasmado en el presente trabajo de tesis.

1.5 Importancia de la Investigación.

La adecuada ventilación en operaciones de minería subterránea en este caso de la Unidad Operativa Pallancata es un proceso de vital importancia para asegurar una atmósfera respirable y segura en beneficio de los trabajadores y para un óptimo desarrollo de sus funciones así también para el buen funcionamiento de los equipos de combustión diésel. Su importancia, se debe principalmente a la influencia en la salud de las personas y la productividad, al punto que sin un buen sistema de ventilación es imposible tener minería subterránea.

1.6 Hipótesis.

1.6.1 General

Con el estudio y diseño del Sistema de Ventilación de las Zonas “Pablo” y “Yurika” nos permitirá evaluar y rediseñar la ventilación para generar un ambiente de trabajo con el caudal óptimo requerido para cubrir las exigencias.

1.6.2 Especificas

1. El estudio del Sistema de Ventilación brindará datos ajustados a la realidad y parámetros de ventiladores en tamaño y ubicación para mejorar el caudal óptimo de aire en cada zona, “Pablo” y “Yurika”
2. Realizando un nuevo diseño del Sistema de Ventilación en base a datos reales de mediciones efectuadas en Mina se logrará optimizar el caudal de aire óptimo de trabajo en la U.O. Pallancata.
3. Con la propuesta de alternativas de nuevos sistemas de ventilación, permitirá seleccionar la mejor alternativa que dé solución a la deficiencia de aire suministrado en la U.O. Pallancata.

1.7 Variables e Indicadores

Cuadro 1: Operacionalización de las variables.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE VALORACIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE		Caudal de aire.	CFM.
Sistema de ventilación	- Requerimientos de caudal de aire -Caudal de aire proporcionado por el sistema	Velocidad del aire. Número de personal.	Metros por segundo. Unidad.
VARIABLE DEPENDIENTE		Área de la Labor.	Metros cuadrados.
- Ambiente de trabajo	- Requerimientos de caudal de aire -Caudal de aire proporcionado por el sistema	Potencia de equipo diésel. Costo de Inversión en labores	HP. US\$
- Déficit y superávit de caudal	- Requerimientos de caudal de aire -Caudal de aire proporcionado por el sistema	Costo de Inversión en ventiladores Costo unitario total	US\$ US\$/TMS
- Alternativas de ventilación	-Caudal de aire proporcionado por el sistema -Costos		

Fuente: Elaboración propia

1.8 Tipo de Investigación

Es una investigación Analítica, y consiste fundamentalmente en establecer la comparación de diferentes alternativas de VENTILACIÓN en la Unidad operativa de Pallancata realizando un estudio detallado de cada alternativa.

1.9 Nivel de Investigación

La importancia del presente estudio en la Ventilación de labores de “Desarrollo” es de manera CORRELACIONAL y a la vez DESCRIPTIVO.

1.10 Población y Muestra

Población: Unidad Operativa Pallancata; Sistema de Ventilación.

Muestra: Accesos de ingreso de aire fresco, salida de aire y frentes de trabajo conformado por trabajadores y equipo de combustión a diésel.

1.11 Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
<p>Planteamiento del Problema</p> <p>Problema General. ¿Por qué el sistema de ventilación actual y proyectada es deficiente para un ambiente de trabajo óptimo?</p> <p>Problema específico.</p> <ol style="list-style-type: none"> El Sistema de Ventilación actual presenta deficiencias en cada zona. El diseño del Sistema de Ventilación actual es irregular por presentar déficit y superávit en el caudal de requerimiento de aire. Existe solo un tipo de Ventilación se requiere más alternativas de Ventilación. 	<p>Objetivo General</p> <p>Evaluar el deficiente Sistema de Ventilación de la U.O. Pallancata y realizar el estudio y diseño del Sistema de Ventilación para determinar el caudal de aire que se requiere para una ventilación óptima.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <ol style="list-style-type: none"> Realizar el estudio del sistema de ventilación de las zonas “Pablo” y “Yurika”. Realizar el diseño del sistema de ventilación de las zonas “Pablo” y “Yurika”. Proponer alternativas de mejora en el sistema de Ventilación de acuerdo al estudio y diseño efectuado. 	<p>Hipótesis General.</p> <p>El Estudio y Diseño del Sistema de Ventilación de las Zonas “Pablo” y “Yurika” nos permitirá evaluar y rediseñar la ventilación para generar un ambiente de trabajo con el caudal óptimo requerido para cubrir las exigencias.</p> <p>Hipótesis Específicas.</p> <ol style="list-style-type: none"> El estudio del Sistema de Ventilación brindará datos reales y parámetros de ventiladores en tamaño y ubicación para el caudal óptimo de aire en cada zona “Pablo” y “Yurika” El diseño del Sistema de Ventilación se realizará en base a datos reales de mediciones efectuados en Mina. El análisis de las distintas alternativas de solución y su selección se basa en la mejor solución posible. 	<p>Dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> * Ventilador * Costos <p>Independiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Personal operativo. ➤ Equipo diésel. ➤ Resistencia. ➤ Circuito de Ventilación 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Diferencia de presiones y temperatura. ➤ Extracción de aire. ➤ Inyección de aire. ➤ Velocidad de aire. ➤ Caudal de ventiladores. ➤ VAN. ➤ Número de personas. ➤ Área de labor. ➤ Potencia de equipo diésel.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

1.- Título de la tesis: “Dinámica de fluidos para el decremento de temperaturas y rediseño del circuito de ventilación en vetas Mercedes 2 y San Juan de la UEA. De San Juan De Chorunga”.

Autor: Ccoropuma Challa Edgardo José

Universidad: Universidad Nacional de San Agustín De Arequipa.

Objetivo general: Diseñar el circuito de ventilación para bajar las temperaturas generales de los niveles inferiores de la veta Mercedes 2 en la unidad minera de San Juan de Chorunga.

Conclusión N° 1 Se ha logrado disminuir la temperatura general de la veta Mercedes 2 (parte inferior) en: $T = (1,6 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura media para el período 2011 en la parte inferior de la veta Mercedes 2, fue de $29,32 \text{ }^\circ\text{C}$; en la actualidad la temperatura media para el período 2012 es de $27,72 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.- Título de la tesis: “Optimización De Costos Aplicando Geomecánica En El Proyecto De Ventilación De La Zona K De La Mina Paragsha – Cerro De Pasco”

Autor: José Carlos Bustamante Morales

Universidad: Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco

Objetivo general: Optimizar los costos aplicando geomecánica en el proyecto de ventilación de la zona K de la mina Paragsha.

Conclusión N° 1 En el caso del desarrollo de las alternativas del proyecto de ventilación de la zona K solo se considera que se moverá un ventilador disponible en el inventario que es el ventilador VEN-2116-CE, ubicado actualmente en el RB 12830. Por lo tanto no optimiza los costos de compra de ventiladores debido a que no hay diferencia en el costo de ventiladores que es **0 US\$**. La generación de estas alternativas optimizara los costos de energía ya que se aprecia que la alternativa 1k tiene un costo de energía anual **2% menor** que la alternativa 2K.

2.1 MARCO LEGAL

Subcapítulo VIII del reglamento de ventilación 023-2017-EM

Ventilación (Art. 246 - Art. 257)

ART. 246.- El titular de actividad minera debe velar por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables.

Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, debe mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos de acuerdo al ANEXO 15 y lo establecido en el Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo, aprobado por Decreto Supremo N° 015-2005-SA o la norma que lo modifique o sustituya. Además, debe cumplir lo siguiente:

a) Al inicio de cada jornada o antes de ingresar a labores mineras, en especial labores ciegas programadas, como son chimeneas y piques, deben realizarse mediciones de gases de monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, oxígeno y otros, de acuerdo a la naturaleza del yacimiento, al uso de explosivos y al uso de equipos con motores petroleros, las que deben ser registradas y comunicadas a los trabajadores que tienen que ingresar a dicha labor.

b) En todas las labores subterráneas se debe mantener una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, con el total de HPs de los equipos con motores de combustión interna, así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de diecinueve puntos cinco por ciento (19.5%) de oxígeno.

c) Las labores de entrada y salida de aire deben ser absolutamente independientes. El circuito general de ventilación se debe dividir en el interior de las minas en ramales para hacer que todas las labores en trabajo reciban su parte proporcional de aire fresco, evitando toda recirculación de aire.

d) Cuando la ventilación natural no sea capaz de cumplir los artículos precedentes, debe emplearse ventilación mecánica, instalando ventiladores principales, secundarios o auxiliares, según las necesidades.

e) Los ventiladores principales, secundarios y auxiliares deben ser instalados adecuadamente, para evitar cualquier posible recirculación del aire. No está permitido que los frentes de desarrollo, de chimeneas y labores de explotación sean ventiladas con aire usado.

f) En labores que posean sólo una vía de acceso y que tengan un avance de más de sesenta metros (60 m), es obligatorio el empleo de ventiladores auxiliares. En longitudes de avance menores a sesenta metros (60 m) se debe emplear también ventiladores auxiliares sólo cuando las condiciones ambientales así lo exijan. En las labores de desarrollo y preparación se deben instalar mangas de ventilación a no más de quince metros (15 m) del frente de disparo.

g) Cuando existan indicios de estar cerca de una cámara subterránea de gas o posibilidades de un desprendimiento súbito de gas, se deben efectuar taladros paralelos y oblicuos al eje de la labor, con por lo menos diez metros (10 m) de avance. **(Artículo modificado por D.S. N° 023-2017-EM art. 1)**

ART. 247.- En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta mil quinientos (1,500) metros sobre el nivel del mar, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de tres metros cúbicos por minuto (3 m³/min). En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

1. De 1,500 a 3,000 msnm aumentará en 40% que será igual a 4 m³/min
2. De 3,000 a 4,000 msnm aumentará en 70% que será igual a 5 m³/min
3. Sobre los 4,000 msnm aumentará en 100% que será igual a 6 m³/min

ART. 248.- En ningún caso la velocidad del aire será menor de veinte metros por minuto (20 m/min) ni superior a doscientos cincuenta metros por minuto (250 m/min) en las labores de explotación, incluido el desarrollo y preparación. Cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de veinticinco metros por minuto (25 m/min).

ART. 249.- Se toman todas las providencias del caso para evitar el deterioro y paralización de los ventiladores principales. Dichos ventiladores deben cumplir las siguientes condiciones:

1. Ser instalados en casetas incombustibles y protegidas contra derrumbes, golpes, explosivos y agentes extraños. Los ventiladores en superficie, así como las instalaciones eléctricas deben contar con cercos perimétricos adecuados para evitar el acceso de personas extrañas.

Contar con otras precauciones aconsejables según las condiciones locales para protegerlas.

2. Tener, por lo menos, dos (2) fuentes independientes de energía eléctrica que, en lo posible, deben llegar por vías diferentes.

3. Estar provistos de silenciadores para minimizar los ruidos en áreas de trabajo o en zonas con poblaciones donde puedan ocasionar perjuicios en la salud de las personas.

4. Estar provistos de dispositivos automáticos de alarma para caso de paradas.

5. Cumplir estrictamente las especificaciones técnicas dispuestas por el fabricante para el mantenimiento preventivo y correctivo de los ventiladores.

(Artículo modificado por D.S. N° 023-2017-EM art. 1)

ART. 250.- En casos de falla mecánica o eléctrica de los ventiladores principales, secundarios y auxiliares que atienden labores mineras en operación, éstas deben ser paralizadas y clausuradas su acceso, de forma que se impida el pase de los trabajadores y equipos móviles hasta verificar que la calidad y cantidad del aire haya vuelto a sus condiciones normales. Los trabajos de restablecimiento serán autorizados por el ingeniero supervisor.

ART. 251.- Para los ventiladores principales con capacidades iguales o superiores a 2,831 metros cúbicos por minuto o su equivalente de 100,000 pies cúbicos por minuto, se deben instalar paneles de control que permitan su monitoreo de operación, su regulación a parámetros requeridos, la emisión de

señales de alarma en caso de paradas y el arranque automático de los equipos de emergencia en caso de un corte de energía.

Para el caso de ventiladores extractores de aire usado, el monitoreo también comprende el contenido de gases de monóxido de carbono, gases nitrosos, oxígeno y temperatura en el aire circulante. Los paneles de control deben contar con baterías de respaldo que les permita seguir funcionando en caso de fallas en el suministro de energía eléctrica. La operación de los paneles de control se realiza sólo por la supervisión autorizada.

(Artículo modificado por D.S. N° 023-2017-EM art. 1)

ART. 252.- Se deben efectuar evaluaciones integrales del sistema de ventilación de una mina subterránea cada semestre y evaluaciones parciales del mismo cada vez que se produzcan conexiones de labores y cambios en los circuitos de aire. Dichas evaluaciones deben ser realizadas por personal especializado en la materia de ventilación. Asimismo, se deben efectuar controles permanentes de ventilación en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación donde haya personal trabajando.

La evaluación integral de ventilación debe considerar:

- a) Ubicación de estaciones de control de ventilación.
- b) Circuitos de aire de la mina.
- c) Balance de ingresos y salidas de aire de la mina. La diferencia de caudales de aire entre los ingresos y salidas de aire no debe exceder el diez por ciento (10%).
- d) La demanda de aire de la mina debe ser la cantidad de aire requerida por los trabajadores, para mantener una temperatura de confort del lugar de trabajo y para la operación de los equipos petroleros. Cuando en la operación no se usen equipos con motor petrolero debe considerarse el aire requerido para diluir los gases de las voladuras de acuerdo al ANEXO 38.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Flujo De Aire En Aberturas Mineras Y Ductos

La actividad de controlar el movimiento del aire, así como su dirección y magnitud, se llama control de cantidad. El curso principal del aire acondicionado total relacionado con la comprobación de la circulación del aire es la ventilación. El iniciador del aire acondicionado moderno de la mina fue la ventilación de la mina, y este término usual todavía se usa libremente para referirse a muchas acciones subterráneas de control atmosférico (Hartman, H.L.1982. Mine ventilation and air conditioning.).

Fundamentalmente, el propósito de la ventilación es brindar suficiente aire para la comodidad humana y los requerimientos del producto. En las minas, donde el aire acondicionado de confort es de suma prioridad, la necesidad de ventilación para el mantenimiento de la vida humana son pocos: alrededor de 20 cfm (0.01 mVs) por persona. Pero, los requisitos pronto se multiplican, debido a que la ventilación cumple muchas acciones. En el control de la calidad química y física del aire, se debe brindar aire limpio y limpio y el sistema de ventilación debe quitar los contaminantes (gas, polvo, calor y humedad). Considerando la totalidad la mina, la necesidad de ventilación superan en gran medida el requerimiento de 20 cfm (0.01 m³ / s) por persona, usualmente mayor a 200 cfm (0.1 m³ / s), y en ocasiones, 2000 cfm (1 m³ / s) por persona. El flujo de 10-20 toneladas de aire por tonelada de mineral explotado no es raro hoy en condiciones muy malas (Hartman, H.L.1982. Mine ventilation and air conditioning.).

Ciertamente, la ventilación es el proceso más beneficioso del aire acondicionado integral de la mina. A raíz de la extensión de la demanda y la longitud que debe recorrer el aire desde la superficie hasta la cara de trabajo, la ventilación también puede ser difícil y costosa. Los ductos de aire de las minas son las aberturas a través de las cuales debe viajar el aire, y el camino puede ser largo y tortuoso.

El entendimiento de la teoría del flujo de aire requiere un conocimiento de la mecánica de fluidos. La ventilación de la mina se basa en los principios de la dinámica de fluidos al paso del aire en las aberturas y conductos de la mina. A pesar de que el aire es un gas y, por lo tanto, un fluido compresible, en casi todos los trabajos de ventilación de minas, el aire puede ser manejado como incompresible. Esta es una simplificación de importancia para los cálculos (Hartman, H.L.1982. Mine ventilation and air conditioning.).

a) Gases De Mina

El ingeniero de ventilación / aire acondicionado de la mina debe tomar en cuenta no solo por la cantidad de aire que el sistema de ventilación de la mina puede suministrar. Además, debe preocuparse por la composición química del aire. El área del aire acondicionado total que se ocupa de la pureza del aire se denomina control de calidad (Hartman, H.L.1982. Mine ventilation and air conditioning.).

Al crear o trabajar con un sistema de ventilación de minas, el control de la calidad del aire es a menudo uno de los problemas más importantes. La diferencia de un entorno industrial donde las fuentes de impurezas están ubicadas y la ventilación, el sistema puede ser y está creado para aislar la fuente de contaminantes, todas las labores subterráneas de la mina contienen el potencial de liberación de contaminantes del aire como estratos gaseosos, polvo, gases de explosión y diésel escape.

Los mismos pasos en los que se generan o liberan los contaminantes del aire deben utilizarse para transportar el aire para que los trabajadores subterráneos puedan respirar (Hartman, H.L.1982. Mine ventilation and air conditioning.).

Adicionalmente, la variedad y cantidad de impurezas generadas bajo tierra se suman a la integridad de la situación. Antes de que se pueda solucionar el problema de mantener la calidad del aire, es de prioridad que

el ingeniero de aire acondicionado esté familiarizado con las propiedades de las impurezas que se pueden encontrar (Hartman, H.L.1982. Mine ventilation and air conditioning).

b) Contaminantes

De forma general, un contaminante, como se usa en ventilación y aire acondicionado, es cualquier sustancia indeseable que normalmente no está presente en el aire o que existe en una cantidad excesiva. Los contaminantes o impurezas pueden ser no particulados (gases y vapores) o particulados (líquidos y sólidos). Las sustancias contaminantes líquidas particulados incluyen nieblas y las sustancias contaminantes sólidas incluyen polvo, humos, humo y organismos (Hartman, H.L.1982. Mine ventilation and air conditioning.).

Las clases más comunes de contaminantes del aire que se encuentran bajo tierra son gases y polvos. Estas dos clases de sustancias contaminantes representan los principales problemas en el control de calidad y, por lo tanto, se analizarán en detalle. El conocimiento de su origen, características y control es necesario para resolver los problemas de contaminantes (Hartman, H.L.1982. Mine ventilation and air conditioning.).

c) Ventilación Por Flujo Natural

La ventilación de forma natural se basa en métodos de análisis de métodos de diferencia de densidad. Existen varias formas de calcular la presión de ventilación natural que se basan en la diferencia de peso específico del aire entre dos columnas de aire de igual altura. Usando la información disponible, se puede calcular el peso específico del aire (Hartman, H.L.1982. Mine ventilation and air conditioning).

Primeramente, considere una columna de aire seco que tiene una unidad de sección transversal y una altura L , y suponga una altura incremental dL . Deje que la presión sobre la base de este incremento sea dp . Entonces la fuerza incremental ejercida es $A dp$, que es igual al peso ($wA dL$) del volumen incremental $A dL$, donde w es peso específico del aire. Observando que el peso específico para el aire seco es (p / RT) , de la ecuación, la siguiente relación es evidente: en el que p_1 y p_2 son presiones absolutas en la parte superior e inferior de la columna, respectivamente, y T es la temperatura absoluta promedio entre la parte de arriba y la parte de debajo de la columna. Se tiene la siguiente ecuación para realizar el cálculo.

$$H_n = p_2 - p_3$$

Donde:

H_n : Presión ejercida debido a la ventilación natural

P_2 : Presión en el punto más alto.

P_3 : Presión en el punto más bajo.

d) Curva Característica del Ventilador

Un ventilador que se mueve a una determinada velocidad y conectado a un sistema que tiene una resistencia dada, crea una presión que representa su capacidad de realizar trabajo útil. Una vez estabilizado el flujo de aire a través del sistema de ventilación, una porción de la energía impartida por el ventilador se transforma en velocidad (presión de velocidad), y lo restante será la energía disponible para vencer la resistencia del circuito (presión estática o útil). La adición de estas dos presiones constituye la presión total del aire en un punto específico del circuito (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

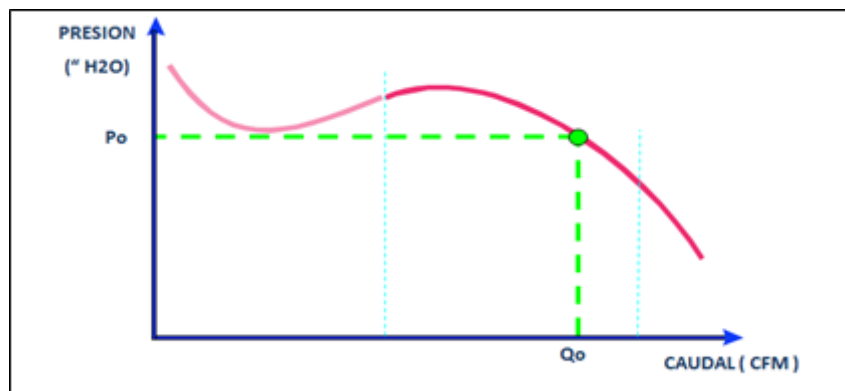
La curva característica de un ventilador es la forma gráfica de la relación existente entre la presión desarrollada por la máquina y el caudal de aire

que fluye a través de la misma para una velocidad de rotación puntual (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

En la curva característica de los ventiladores, se aprecia generalmente la presión estática creada y la potencia al eje requerida para cada condición de flujo. Algunas veces, se incluye además la eficiencia del ventilador para toda la amplitud en el que es capaz de operar (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

Un ventilador podemos identificarlo por su curva, que es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento del mismo (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

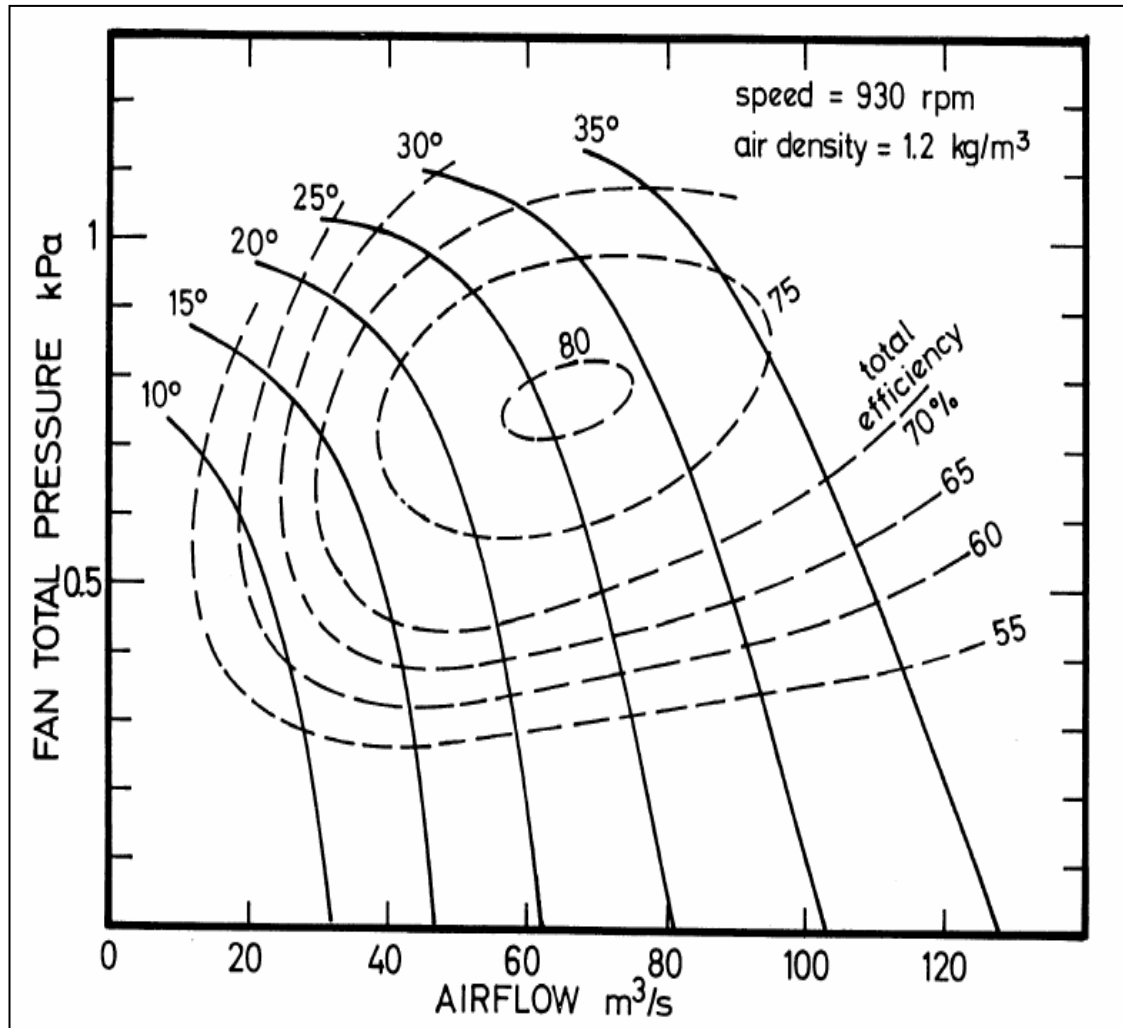
Figura 1. Curva de un Ventilador



Fuente: Subsurface Ventilation Engineering, Malcolm J. McPherson, 2003

Para cada ángulo de ajuste de los álabes tendremos una curva distinta. El lugar de intersección de la curva es el punto en el que funciona un ventilador (P_o , Q_o) (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

Figura 2. Ejemplo de curvas características de un ventilador Axial con ángulo de paleta variable.



Fuente: *Subsurface Ventilation Engineering*, Malcolm J. McPherson, 2003

2.2.2 Acoplamiento de Ventiladores

En lugares importantes de ventilación, cuando es necesario disponer de caudales o presiones que varían grandemente, es necesario recurrir a un sistema de acoplamiento de equipos, que puede ser en serie como en paralelo (Malcolm J. McPherson, 2003, *Subsurface Ventilation Engineering*).

a) Trabajo en Serie de Dos Ventiladores

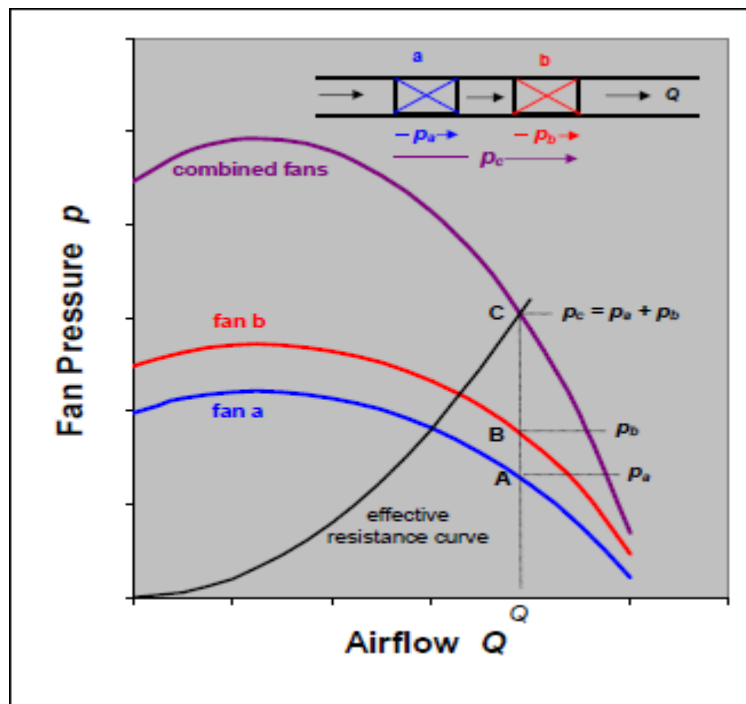
Con el funcionamiento en serie de dos ventiladores, el flujo de aire que pasa por ambos ventiladores es igual, al valor Q_1 y la presión total es igual a la suma de las presiones producidas por cada ventilador: $PT = PT/2 + PT/2$.

(Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

El caudal total de dos ventiladores iguales, instalados en serie y que giran con igual número de revoluciones, es mayor que cada caudal parcial, pero siempre inferior a la suma de los caudales del trabajo individual. Es decir:

$Q_1 < Q_T < Q_1 + Q_2 = 2 \times Q_1$ (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

Figura 3. Curva de dos ventiladores en serie



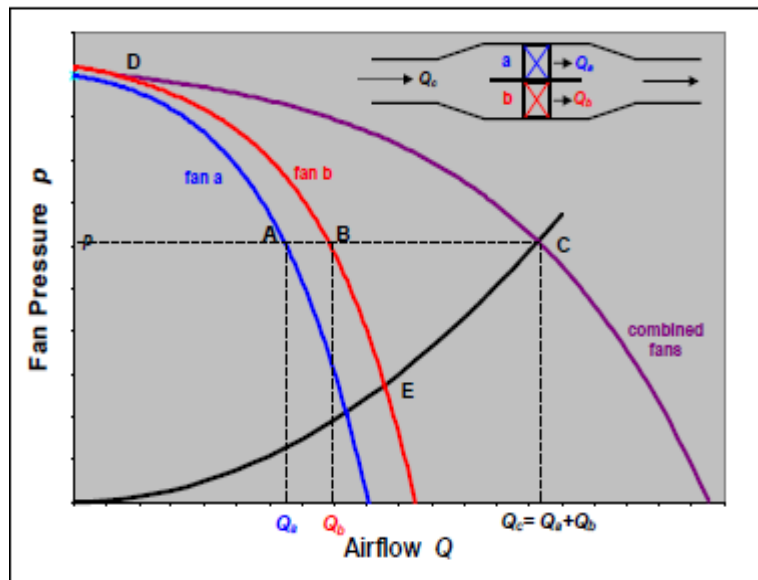
Fuente: Subsurface Ventilation Engineering, Malcolm J. McPherson, 2003

b) Trabajo en Paralelo de Dos Ventiladores

Se debe de tomar en cuenta que, para una resistencia dada, como se observa en la figura 4, un solo ventilador podría trabajar en un punto muy cerca al

bombeo, en cambio, al acoplarle otro ventilador, se observa que (PT, QT), está bastante más lejos del régimen inestable (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

Figura 4. Curva de dos ventiladores en paralelo



Fuente: *Subsurface Ventilation Engineering, Malcolm J. McPherson, 2003*

2.2.3 Pérdidas de Carga Circuito de Ventilación

Las pérdidas de carga en el circuito de ventilación se clasifican en pérdidas por fricción, pérdidas por choque y pérdidas por presión dinámica (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

a) Pérdidas por Fricción

El momento en el que el aire fluye a través de un ducto o galería minera, la presión requerida para mover el aire a través de él depende no sólo de la fricción interna, sino también del tamaño, longitud, forma del ducto, velocidad y densidad del aire. Todos estos factores son considerados en la ecuación se llama "Ley de Atkinson" (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

$$P = \frac{KCLV^2}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dónde:

- P: Caída de presión (Pa).
- K: Factor de fricción de la tubería.
- C: Perímetro del ducto (m).
- L: Longitud del túnel (m).
- V: Velocidad (m/s).
- A: Área del ducto (m²).

Sabiendo: $Q = VA$

La fórmula anterior, se expresará como:

$$P = \frac{KCLQ^2}{A^3} \dots \dots \dots (2.2)$$

En un circuito de ventilación, las pérdidas por fricción en las mangas son importantes de cara al diseño de la instalación, siendo las de las galerías del túnel o mina muy pequeñas en comparación frente a estas (suponen en general menos de un 1% en relación a las de las mangas) (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

b) Pérdidas por Choque

Las pérdidas por choques se presentan cuando el flujo de aire cambia de dirección o el conducto cambia de sección. Estas pérdidas se calculan como un porcentaje sobre la presión dinámica del fluido:

$$P_x = \xi \frac{\rho \times V^2}{2} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dónde:

- P_x: Pérdida por choque (Pa).
- ρ: Densidad del aire (kg/m³).
- ξ: Coeficiente de pérdida del elemento, valor obtenido experimentalmente
- V: Es la velocidad del aire en el conducto (m/s).

En un lugar de ventilación auxiliar, esto ocurre en elementos como codos, cambios de diámetro de la tubería, puntos de bifurcación de la tubería, rejillas de protección de tubería o ventilador.

La adición de estas dos perdidas, la de fricción y de choque nos resulta en la Presión Estática (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

c) Pérdidas por Presión Dinámica

Al finalizar del circuito, generalmente a la salida del ducto (sistemas soplantes) o la salida del ventilador (sistemas aspirantes) se debe de considerar la presión dinámica con la que el aire sale, ya que ésta es una pérdida más en el sistema. Estas pérdidas no se complican más y se han calculado por la fórmula general de la presión dinámica (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

$$P_{din} = \frac{\rho \times V^2}{2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dónde:

P_{din}: Caída de presión (Pa).

ρ: Densidad del aire (kg/m³).

V: Velocidad del aire en el conducto (m/s).

d) Factor de Fugas en Conductos de Ventilación

Estas fugas en un principio dependen de las características del ducto/tubería, pero es necesario tener en cuenta que estas tuberías están instaladas en un sistema dinámico, lo cual quiere decir que al mismo tiempo que se aporta aire están trabajando en el frente, por lo tanto, es muy frecuente que las tuberías se vean deterioradas con el paso del tiempo.

El caudal final total tomando en cuenta las fugas se calcularon con la siguiente formula (empírica) (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

$$Q_{FINAL} = Q \times \left(1 - \frac{F}{100}\right)^{-L/100} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dónde:

Q FINAL: caudal final a la salida del ventilador axial (m3/s).

Q: caudal requerido en el frente de trabajo (m3/s).

L: longitud equivalente del túnel (m).

F: factor de fuga de la tubería otorgada por el fabricante (%).

Lo anterior se debe tener muy en cuenta tanto en el diseño como en las labores de mantenimiento. Sin embargo, la experiencia dice que la formula anterior, si es usada considerando las particularidades del proyecto, es una buena aproximación a la realidad (Malcolm J. McPherson, 2003, Subsurface Ventilation Engineering).

2.2.4 VENTILADORES

Un ventilador es una máquina que brinda energía a un fluido (aire o gases), produciendo el incremento de presión necesario (Presión Total) con la que se sostiene un flujo continuo de dicho fluido (Ventilación de Minas. 2010. Zitrón).

Para accionar este trabajo el ventilador requiere de una potencia en el eje del motor que lo genera que viene dada por la expresión (Ventilación de Minas. 2010. Zitrón)

Cada ventilador será definido por su curva característica, el cual es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento del mismo para cada ángulo de regulación de los álabes. Por consiguiente, tendremos una curva característica distinta para cada ángulo. El punto de intersección de la curva característica con la resistencia del circuito es el punto de funcionamiento del ventilador (Ventilación de Minas. 2010. Zitrón).

2.2.4.1 Clasificación de los ventiladores

Con el mejoramiento de la ciencia aerodinámica, en los años posteriores a la segunda guerra mundial se crearon los primeros ventiladores de flujo axial, es decir, los ventiladores axiales, los cuales son los más utilizados, en la actualidad y a nivel global, para mover grandes caudales de aire en los trabajos subterráneos, los cuales operan -dichas unidades- tanto en interior mina, como en superficie. Los ventiladores de tipo centrífugo, actualmente son ampliamente utilizados en Sistemas de Ventilación Industrial dado su capacidad de generar altas caídas de presión con caudales relativamente bajos (Ventilación de Minas. 2010. Zitrón).

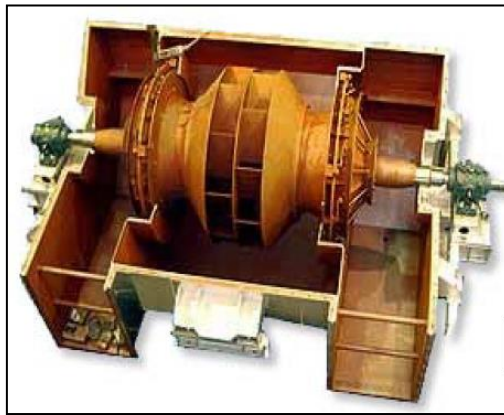
Los ventiladores se clasifican en el sentido más general en 3 tipos: Ventiladores de hélice, axiales y centrífugos. Cada uno de estos tipos se pueden disponer con variedad de posiciones de descarga y diferentes tipos de accionamiento del rodete (Ventilación de Minas. 2010. Zitrón).

a) Ventilador Centrífugo.

El ventilador centrífugo está basado en un rotor encerrado en una envolvente de forma espiral; el aire, que entra a través del ojo del rotor paralelo a la flecha del ventilador, es absorbido por el rotor y arrojado contra la envolvente se descarga por la salida en ángulo recto a la flecha; puede ser de ingreso sencillo o de ingreso doble (Ventilación de Minas. 2010. Zitrón).

Son ventiladores de flujo radial. La dirección del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo a la salida. Si el aire a la salida se recoge perimetralmente en una voluta, se dice que el ventilador es de voluta (Ventilación de Minas. 2010. Zitrón).

Figura 5: Ventilador Centrifugo

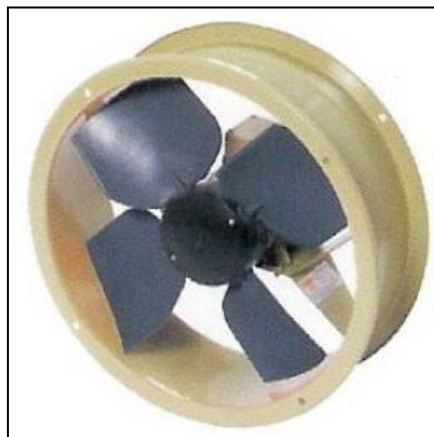


Fuente: Ventilación de Minas, 2010, Zitrón

b) Ventilador De Hélice

Este tipo ventilador está creado por un rodete dentro de un anillo o carcasa de montaje. La dirección del flujo de aire es paralela a la flecha del ventilador. Se usa para movilizar aire en circuitos cuya resistencia es muy pequeña (Ventilación de Minas. 2010. Zitrón).

Figura 6: Ventilador de Hélice



Fuente: Ventilación de Minas, 2010, Zitrón

c) Ventilador axial

El ventilador axial es de diseño aerodinámico. Esta clase de ventilador consiste principalmente en un rodete alojado en una envolvente cilíndrica

o carcasa. La adición de álabes-guía, detrás del rotor, transforma al ventilador turbo-axial en un ventilador axial con aletas guía (Ventilación de Minas. 2010. Zitrón).

Funciona en un amplio rango de volúmenes de aire, a presiones estáticas que van de bajas a moderadamente altas y tiene la capacidad de desarrollar mayores presiones estáticas que el ventilador centrífugo a la vez que es mucho más eficiente. Los álabes-guía, en la succión o en la descarga, o en ambas partes, se han adicionado para enderezar el flujo del aire fuera de la unidad a la vez que son necesarios para el diseño (Ventilación de Minas. 2010. Zitrón).

Figura 7: Ventilador Centrifugo



Fuente: Ventilación de Minas, 2010, Zitrón

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Presión Estática (PE): Es la presión potencial ejercida en todas las direcciones por un fluido en reposo. Para un fluido en movimiento se mide en la dirección perpendicular a la del flujo, tendencia a dilatar o colapsar al ducto.

Presión Dinámica (PD): Es la presión cinética en la dirección del flujo necesaria para hacer que un fluido en reposo fluya a una determinada velocidad.

Presión Total (PT): Suma algebraica de las presiones estáticas y dinámicas. Los resultados se expresarán en unidades inglesas pulgadas de columna de agua ("C.A.).

Factor de Corrección por Densidad: es el cociente entre la densidad real del aire en faena y la densidad del aire estándar.

Aerodinámico: Objeto cuya forma ofrece poca resistencia al aire.

Punto de Operación: El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito (P, Q), es el punto de funcionamiento del ventilador.

Eficiencia de la Red: Es el porcentaje de cuan efectivo o proporcionado es la red de ventilación (conductos), frente al volumen de ingreso de aire fresco, impulsado mecánicamente o por ventilación natural.

Resistencia de la red: Es la sumatoria total de todos los obstáculos que impiden el paso de un volumen de aire. Está en función del tamaño de la sección de la labor y de las condiciones de las paredes de éste denominados como factores de fricción y choque expresado en Ns^2/m^8 .

2.4 MARCO CONTEXTUAL.

2.4.1 Ubicación.

La concesión de Unidad Operativa Pallancata, se ubica en el distrito de Coronel Castañeda, provincia de Parinacochas, Departamento de Ayacucho; aproximadamente 520 km. al SE de Lima y 180 km. al SW del Cusco.

La operación minera más cercana, dista 15 km. Al NE y es la mina Selene-Explorador, de la Compañía Minera Ares. La ubicación de Proyecto Pablo.

- Departamento: Ayacucho.
- Provincia: Parinacochas.
- Distrito: Coronel Castañeda.
- Anexo: Comunidad Campesina de Pallancata.

2.4.2 Accesibilidad

Se puede acceder al Proyecto Pablo por 02 vías, la primera vía es, desde la ciudad de Lima – hasta la ciudad de Cuzco (vía aérea) y desde la ciudad de Cuzco – hasta la ciudad de Abancay - Quillcaccasa a través de 740 km. de carretera asfaltada y de allí 45 km. de trocha carrozable hasta la propiedad, el viaje dura aproximadamente 09 horas.

El mayor centro de población más cercano a Pallancata es el pueblo de Izcahuaca, a unos 45 kilómetros al noroeste de Pallancata, con una población de aproximadamente 500 personas, sus instalaciones son muy limitadas de precaria condición como son construidas de material de abobe en su gran mayoría de la población.

La segunda vía es desde la ciudad de Lima – hasta la ciudad de Nazca – Puquio - Quillcaccasa a través de 950 km. de carretera asfaltada y de allí 45 km. de carretera de trocha carrozable hasta la propiedad de Pallancata, donde está ubicado la Unidad Operativa Pallancata. El viaje dura aproximadamente 14 horas hasta las instalaciones de la Unidad Minera. (**Ver Figura 8:** Ubicación de la mina Pallancata).

Figura 8: Ubicación de mina Pallancata



Fuente: <https://maps.google.com>

2.4.3 Clima

El clima en Pallancata consiste de una estación seca y otra húmeda. Los meses más húmedos son de diciembre a marzo. Las temperaturas van de menos 5°C a 20°C típico de la región del altiplano, con una temperatura media anual de 8°C (46°F). La temperatura máxima es 18,8°C (66°F) en noviembre y el promedio mínimo es de menos 7.5°C (18.5°F) en julio.

La precipitación es de unos 610 mm (24 pulgadas) anuales de los cuales el 80% cae en los meses de invierno, de noviembre a marzo. La media máxima de las precipitaciones se produce en enero 133,3 mm (5,25 pulgadas) y mínima, en julio de 2,4 mm (0,1 pulgadas).

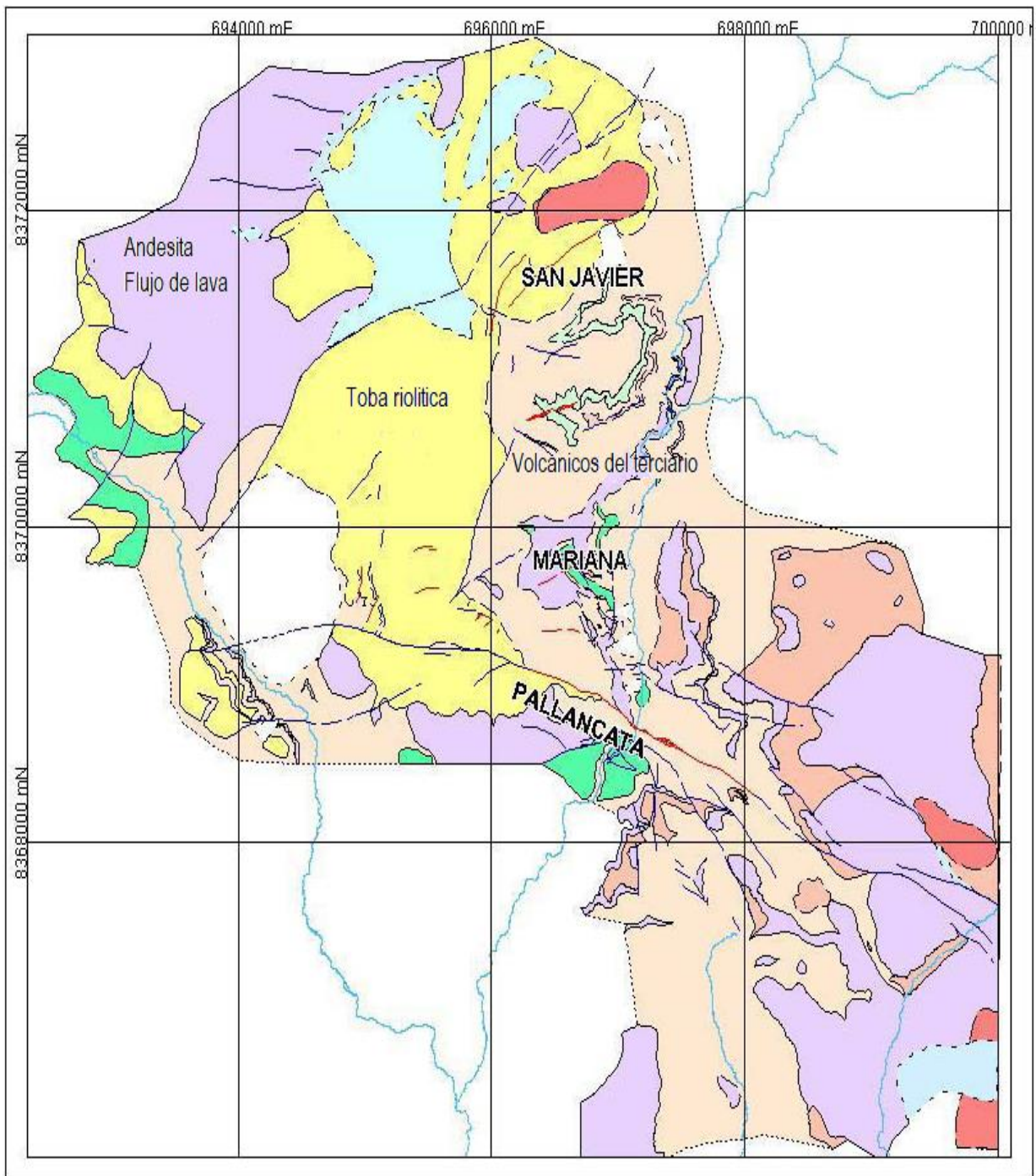
Situado en la Cordillera Occidental del Sur de Perú, las elevaciones en la zona van desde aproximadamente 4000 a 4700 m. La topografía es accidentada. La altitud, la exposición de rocas, pendientes pronunciadas y la falta sustancial de la cubierta del suelo da como resultado una falta de vegetación importante.

2.5 GEOLOGÍA

2.5.1 CONFIGURACIÓN REGIONAL

A nivel regional, el proyecto se encuentra en la Cordillera Occidental del sur del Perú, que comprende principalmente volcanes cretáceos y terciarios y secuencias sedimentarias raras, junto con intrusivos terciarios. Las principales litologías del área de Pallancata se muestran en la siguiente figura:

Figura 9: Geología del área de Pallancata



Fuente: Área de geología de Unidad Minera Pallancata

El mapeo geológico del área de concesión fue preparado por un consultor independiente (Pratt & Crummy 2005) y el grupo de exploración IMZ. Forma la base de interpretación regional y la estrategia para la identificación de otros objetivos de exploración. Además del sistema de venas Pallancata. Los autores de este informe han revisado los informes geológicos, que son consistentes con las estructuras y litologías identificadas en inspeccionados. Sin embargo, las conclusiones son las de IMZ y sus consultores independientes.

Las rocas volcánicas de la Formación Aniso de la era Terciaria, incluidos lapiles andesíticos dacíticos y tobas de cristal, brechas volcánicas y conglomerados, y sedimentos volcánicos intercalados con flujos de lava andesítica dominan el área del proyecto Pallancata. Estos son introducidos por un cuerpo de andesita subvolcánico que aparentemente controla la mineralización de Pallancata. Este cuerpo ha sido delineado por perforación diamantina y es claramente evidente en la elevación de 4.200 msnm.

Una enorme toba blanca riolítica se encuentra inconforme en las rocas volcánicas, cubriendo gran parte del terreno más alto en el área.

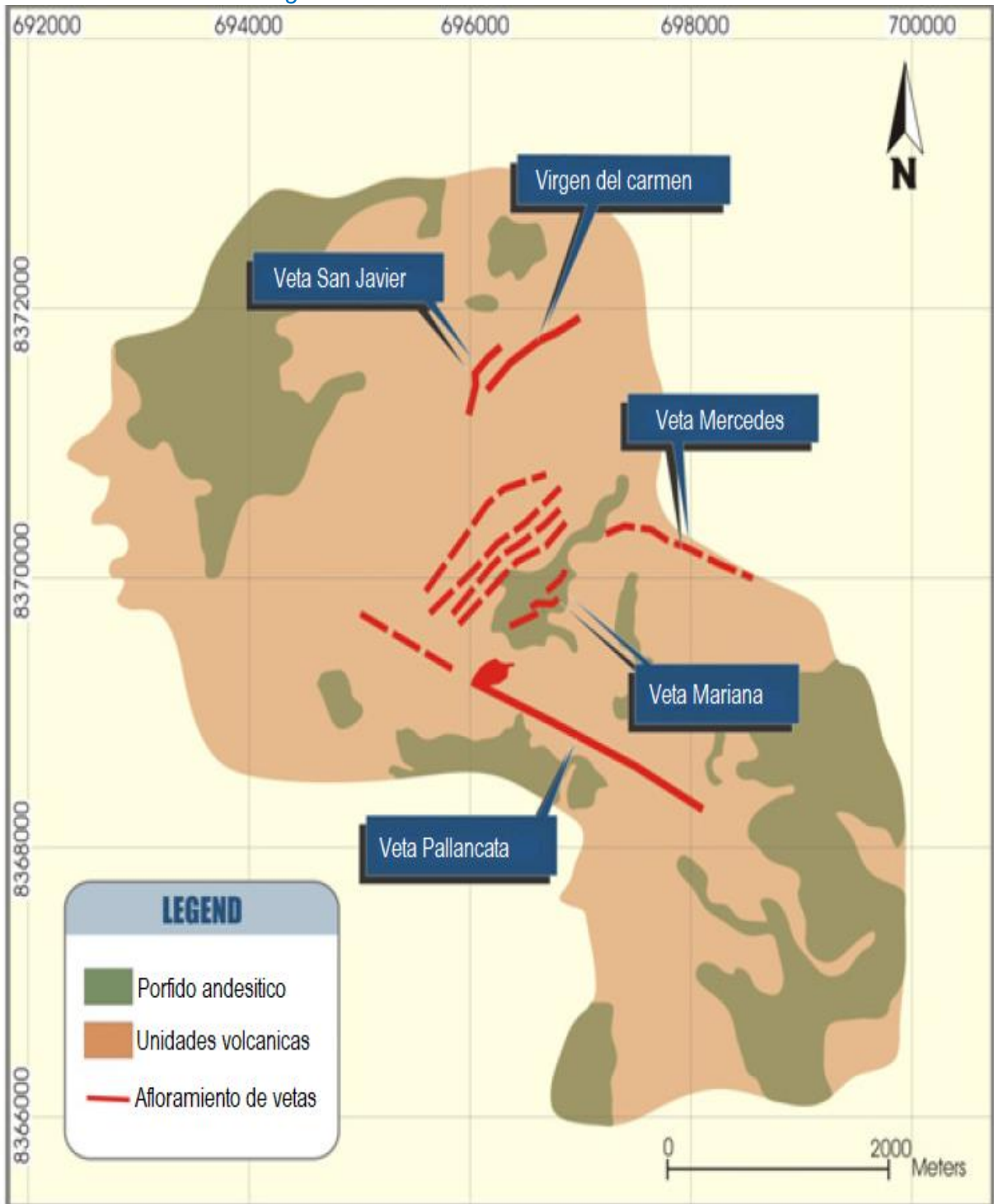
Tres reservas de riodacita en forma de cúpula han invadido los volcanes en el norte del área y al este del proyecto, en las áreas de Ranichico, Suyamarca y Sarnahuri. Estos exhiben estructuras de flujo típicas. Sus relaciones con el evento de mineralización no son claras y podrían corresponder a un evento posterior. Estas intrusiones son muy similares a las cúpulas mapeadas en el distrito mineralizado de Explorador en Selene. En las concesiones Pallancata y Pallancata 2002, un gran lacolito de andesita porfídica está presente en profundidad.

Las rocas volcánicas terciarias en el área de Pallancata fueron depositadas en un ambiente tectónico muy activo. Existen numerosos ejemplos a pequeña y gran escala de profundos cambios, controlados en gran parte por fallas activas. Algunas de estas fallas tienen una orientación noroeste-sureste similar a la veta Pallancata, pero muchas otras atacan casi de norte a sur.

La evidencia de inestabilidad sedimentaria es generalizada, pero es más fuerte en la vecindad de la estructura principal de la vena Pallancata. Esta fue probablemente una zona importante de colapso, ya sea parte de un margen de caldera o Graben lineal. Donde existen cristales resbaladizos en los planos de fallas, son invariablemente siniestros. Las fallas y las venas forman un grupo continuo de estructuras sub-verticales con diversos grados de movimiento de deslizamientos. La estrecha correlación entre la falla y la orientación de la vena sugiere que estaban activos al mismo tiempo. La alteración y la mineralización parecen estar controladas por estas estructuras y zonas de alto grado, por la zona de la brecha occidental, puede estar relacionada con porciones dilatacionales relacionadas con trotes y curvas en estas estructuras.

Las estructuras de vetas principales muestran una orientación noroeste-sureste, similar a la Veta Pallancata, aunque se reconoce que una tendencia estructural noreste-suroeste controla los sistemas de vetas Mariana y Virgen del Carmen. La tendencia estructural noreste-suroeste está menos desarrollada y parece estar genéticamente relacionada con un régimen tensional generado por el movimiento en las estructuras noroeste-sureste. Las principales estructuras de vetas en la propiedad Pallancata se muestran en la siguiente Figura.

Figura 10: Vetas de la unidad Pallancata



Fuente: Área de geología de unidad minera Pallancata

2.5.2 TIPOS DE DEPÓSITO

La mineralización de Pallancata ha sido reconocida como un sistema epitermal de metales preciosos de baja sulfuración por los geólogos de exploración de Oro Vega y Suyamarca y sus consultores geológicos independientes. La base informada de estas conclusiones es consistente con las características reconocidas y publicadas como características de este tipo de mineralización. Cabe señalar que la mineralización es muy comparable a la conocida en el Sistema de Vetas Explorador explotado por Hochschild en la Mina Selene Explorador y que ha apoyado la producción minera desde 2003.

Múltiples eventos de mineralización son evidentes. La mineralización de metales preciosos en la etapa principal sobreimprime las etapas anteriores, pero también puede representar las etapas de disminución del mismo sistema hidrotermal. Es probable que el control de la mineralización de la etapa principal haya sido proporcionado por una falla importante de ataque noroeste-sureste.

Baja sulfuración, la mineralización epitermal de plata y oro está presente en una compleja gama de vetas, brechas (tanto hidrotermales como tectónicas), fábricas de depósitos y zonas silicificadas. Las zonas venosas comprenden brechas venosas con clastos in situ de reemplazo de carbonato con cuchilla y lixiviación parcial. Las bandas crustiformes y colloformes también son comunes. La matriz generalmente consiste en cuarzo seco semitranslúcido de color blanco lechoso a grano grueso. Múltiples fases de vetas son evidentes. Las brechas varían desde brechas tectónicas simples hasta brechas hidrotermales complejas de eventos múltiples. Estos incluyen brechas de sílice negro (ricas en sulfuros) a brechas de cuarzo blanco masivas.

2.4.5 MINERALIZACIÓN

Seyamarca define seis áreas principales de mineralización dentro de un área de tres por dos kilómetros. Estos comprenden Virgen del Carmen / San Javier, Mariana, Mercedes, San Cayetano, Pallancata y Huararani.

Baja sulfuración, la mineralización epitermal de plata y oro está presente en una compleja gama de vetas, brechas (tanto hidrotermales como tectónicas), fábricas de depósitos y zonas silicificadas. Las zonas venosas comprenden brechas venosas con clastos in situ de reemplazo de carbonato con cuchilla y lixiviación parcial. Las bandas crustiformes y colloformes también son comunes. La matriz generalmente consiste en cuarzo seco semitranslúcido de color blanco lechoso a grano grueso. Múltiples fases de vetas son evidentes. Las brechas varían desde brechas tectónicas simples hasta brechas hidrotermales complejas de eventos múltiples. Estos incluyen brechas de sílice negro (ricas en sulfuros) a brechas de cuarzo blanco masivas.

La estructura principal de la veta Pallancata es el área objetivo principal y alberga una zona de tendencia WNW-ESE de vetas y fallas complejas de múltiples fases que generalmente tiene conductos bien definidos que sufrieron una dilatación importante. La estructura pellizca, se divide y tiene una naturaleza sinuosa. Es evidente que la vena está en escalón, tanto horizontal como verticalmente.

El chapuzón es generalmente subvertical, con un descenso hacia el sur. Alteración, cambia de esmectítica a ílítica hacia la estructura principal, pero a menudo es difícil distinguir la alteración de la arcilla de la alteración diagenética debido al alto contenido de piedra pómez de las tobas de lapilli. Hay un halo silicificado distinto alrededor de la vena que es más prominente en el lado norte de la vena.

La estructura principal de la veta Pallancata, como se reconoce actualmente, tiene una longitud de ataque de aproximadamente dos kilómetros y una anchura de hasta 40 m, incluidas las rocas de pared intensamente silicificadas. Las venas o salpicaduras individuales tienen más de medio a tres metros de ancho.

La mineralización ha sido probada en profundidad a 500 m debajo de la superficie. Las porciones de la estructura están dominadas por carbonato con cuchillas alterado de cuarzo in situ. En otros lugares muestra brecha de rompecabezas, comúnmente con sílice calcedónica negra y relleno de sulfuro. Otras partes son brechas hidrotermales verdaderas con texturas complejas y múltiples fases de sílice calcedónica en bandas y cuarzo seco eédrico.

Gran parte de la mineralización de alto grado en la propiedad se ve en la zona oeste de Breccia.

Esta zona está ubicada en la parte occidental de la estructura principal de Pallancata, y comprende un cuerpo intensamente silicificado con un fuerte stock de vetas de cuarzo, que típicamente golpean de noreste a noroeste. Las zonas de alto grado ocurren donde estas vetas se cruzan con la estructura principal de la veta Pallancata, en dirección noroeste. En Pallancata West, los movimientos de fractura son normales y sinistres, mientras que en Pallancata Central son normales y dextrales. La estructura principal muestra cimoides mineralizados (vetas dúplex) y vetas tensionales principalmente en la pared del pie en Pallancata West, y tanto en la pared del pie como en la pared colgante en Pallancata Central.

La mineralización es generalmente pobre en sulfuros e incluye argentita, plata rubí (pirarargirita / proustita), pirita, marcasita, galena, electrum y, raramente, oro nativo. La mayor parte de la mineralización de plata visible en el núcleo de perforación de la veta Pallancata ocurre dentro de la sílice masiva, incluida la sílice que muestra texturas de reemplazo de carbonato. En estas áreas, la plata se presenta como argentita y pirarargirita. Parte de la mineralización de argentita ocurre con adularia después de una temprana silicificación y brecha y una fase intermedia de calcedonia con bandas.

Parece haber habido múltiples episodios de deposición de plata en la veta Pallancata.

La textura de reemplazo de carbonato sombrío, el producto de la silicificación de la calcita laminar y la presencia de adularia atestiguan la existencia de condiciones de ebullición durante la formación de la brecha venosa. Los

geólogos de Suyamarca informan sobre un estudio mineralógico y de difracción de rayos X que indica:

- Granos de oro nativo asociados con argentita, que llenan cavidades en pirita y se diseminan en cuarzo.
- Argentita reemplazando galena y calcopirita
- Platas de rubí (pirarargirita / proustita) asociadas con micro fracturas y cavidades de relleno de argentita en cuarzo y pirita, reemplazando galena y calcopirita
- Esfalerita que llena micro fracturas y cavidades en cuarzo, reemplazando pirita y marcasita, siendo reemplazada por galena, calcopirita y cuarzo.
- Covellita reemplazando calcopirita y argentita
- Minerales de óxido, principalmente fracturas de relleno de hematita y limonita, intersticios y cavidades, que dan un color amarillento al material de la ganga.

El stockwork de Huararani aflora inmediatamente al norte del extremo occidental de la veta Pallancata (Brecha occidental). Están compuestos de casi el mismo tipo de vetas de cuarzo y alteración que en la veta Pallancata, aunque a un nivel estructural / geoquímico más alto. Las existencias son moderadamente anómalas en metales preciosos en la superficie, sin embargo, la perforación durante 2006 confirmó que los grados de metales preciosos aumentan en profundidad (intersección de hasta 2.2 m con 1,269 g / t de plata y 4.7 g / t oro).

Las zonas de San Javier / Virgen del Carmen, Mariana, San Cayetano y Mercedes muestran tipos similares de vetas de cuarzo a la veta Pallancata. El Mercedes Vein es paralelo a la estructura de Pallancata, mientras que los otros golpean el noreste-suroeste como resultado de la apertura tensional lejos del sistema WNW-ESE principal. Se realizaron perforaciones diamantinas en las estructuras de San Javier / Virgen del Carmen y Mariana en 2005. Se realizaron perforaciones adicionales en la estructura de Mariana en 2006. Se realizó un muestreo de astillas de roca superficial en las estructuras de Mariana, Mercedes y San Cayetano durante 2006.

2.4.6 RESERVAS DE MINERAL

Las reservas de mineral de la unidad minera Pallancata ascienden a 1778636 toneladas con Oro y Plata como minerales de venta. (Ver **Cuadro 2**).

Cuadro 2. Reservas atribuibles a diciembre del 2018 - Unidad Minera Pallancata

Categoría de reservas	Reservas, t	Ag, g/t	Au, g/t	Ag, moz	Au, koz	Ag Eq, moz
Probada	1498793	281	1.1	13.6	51.2	17.7
Probable	279843	213	0.9	1.9	8.2	2.6
Total	1778636	271	10	15.5	59.3	20.3

Fuente: http://www.hochschildmining.com/es/nuestras_operaciones/reservas_y_recursos

2.4.7 RESEÑA HISTORICA

La propiedad Pallancata, rica en plata y oro, está ubicada en el departamento de Ayacucho, en el sur del Perú, aproximadamente a 160 kilómetros de la operación Arcata. El mineral de Pallancata es transportado 22 kilómetros hasta la planta de Selene para su procesamiento. Pallancata comenzó su producción en el 2007 y hasta diciembre del 2013 fue un joint venture, en la que Hochschild tuvo una participación controladora del 60% en International Minerals Corporation ("IMZ"). Tras la compra de IMZ, Hochschild posee el 100% de la operación.

En 1980, se descubrieron en la propiedad las vetas de Pallancata y de Mariana. En el 2002, IMZ adquirió la propiedad y llevó a cabo un programa de exploración desde el 2002 hasta el 2005. En el 2006, Hochschild Mining plc firmó un acuerdo de empresa conjunta formal con IMZ para promover un rápido desarrollo, permitiendo así el inicio de la producción comercial en el yacimiento Pallancata. La producción comenzó en el tercer trimestre del 2007 a un ritmo inicial de 180 miles de toneladas al año.

Pallancata es un yacimiento de vetas epitermales de metales preciosos de baja a intermedia sulfuración y su explotación se realiza mediante el método de corte y relleno. La mineralización de las vetas epitermales de baja sulfuración se extiende desde las áreas de San Javier/Virgen del Carmen en el norte, por más

de 3 kilómetros hasta la veta de Pallancata, y en una dirección de este a oeste, 2 kilómetros como máximo, con una extensión vertical de hasta 500 metros. La veta de Pallancata es la principal zona objetivo. La zona mineralizada conocida en la veta de Pallancata tiene más de 2 kilómetros de longitud y 40 metros de ancho como máximo. Las zonas de San Javier y de Mariana presentan un sistema similar de vetas con una mineralización de plata y oro de alta ley.

El mineral de Pallancata es transportado, aproximadamente, 22 kilómetros a nuestra planta Selene para su procesamiento y luego es vendido en la forma de concentrado de plata/oro.

En el 2018, la producción total equivalente de plata en Pallancata fue de 9,403 miles de onzas, conformada por una producción de 7,449 miles de onzas de plata y 26.4 miles de onzas de oro. En el 2018, gran parte del nuestro enfoque fue obtener permisos de exploración para campañas del 2019 en Pablo Sur, Palca y Cochaloma. Sin embargo, se realizaron aproximadamente 1,100m de perforación subterránea potencial en la estructura de Pablo Sur para probar una posible extensión a la veta original Pallancata, mientras que la perforación de control de mineral en la veta Cinthia en Ranichico y en Pablo Piso en el cuarto trimestre agregaron recursos adicionales.

Como se menciona anteriormente, la campaña del 2019 se concentrará en la perforación de potencial en las estructuras de Pablo Sur, Palca y Cochaloma con más de 30,000 metros de corriente programada para llevarse a cabo y se espera que comience en el segundo y tercer trimestre del 2019.

2.5 Método de Explotación

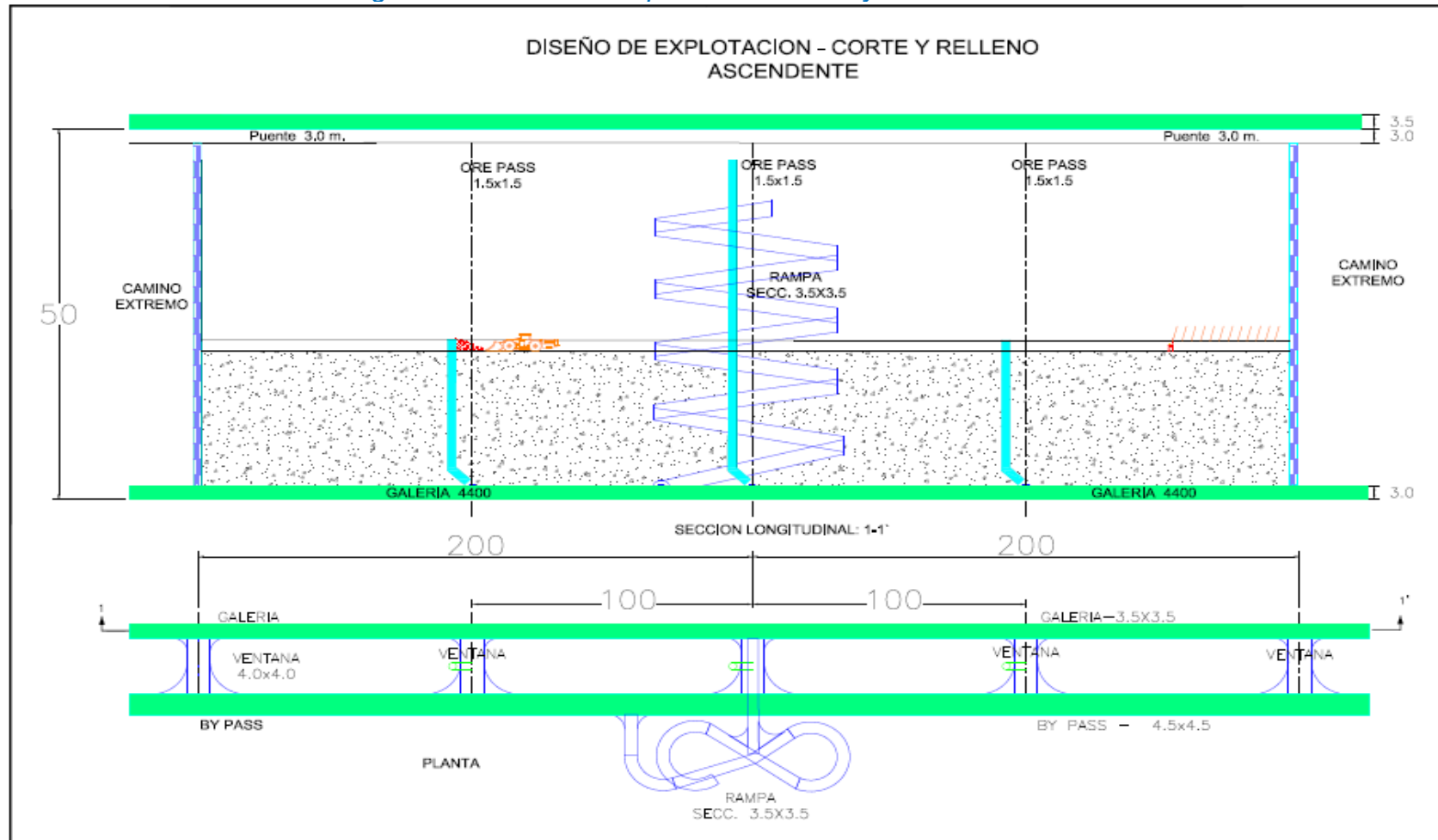
2.5.1 Corte y Relleno Semimecanizado en la Zona Yurika

El método de minado aplicado en la veta Yurika, es el corte y relleno semimecanizado con relleno detrítico, (en adelante, —CRMII).

La forma de trabajo en este tipo de explotación, es:

Extracción de mineral basado en la voladura de taladros horizontales y relleno detrítico. Para esta opción de trabajo, se tomó en consideración la geomecánica y las dimensiones de la estructura; asimismo, estas características se tomaron como referencia para trabajar el diseño de la mina, teniendo las labores principales en la caja piso. El diseño del CRM esta principalmente basado en el comportamiento de las cajas que contienen a la estructura mineralizada (ver **Figura 11**).

Figura 11. Método de explotación – Corte y relleno ascendente



Fuente: Elaboración propia.

2.5.1.1 Ciclo de minado – Cut and Fill

El método Cut and Fill corresponde a una forma de explotación del mineral altamente selectiva y con un alto grado de recuperación. La extracción se realiza de forma ascendente, en donde el mineral es extraído a partir de niveles horizontales, empezando por el nivel base del bloque a explotar y avanzando verticalmente. Una vez que se extrae la totalidad del nivel (dejando pilares donde sea necesario), este se rellena con material estéril (relleno), el cual sirve de piso de trabajo para la siguiente tajada a explotar y al mismo tiempo permite sostener las paredes del sector explotado.

La labor de preparación para la explotación consiste en:

- Galería de transporte a lo largo del cuerpo mineralizado en el nivel principal.
- Rampa en espiral con galerías de acceso a las áreas de producción y desarrollo.
- Instalación de servicios de aire, agua dulce y salada, un sistema de drenaje.
- Chimeneas para conectar con los niveles superiores y ventilación.

2.5.1.2 Diseño de bloques

Las dimensiones de un bloque se definen por la forma geométrica del cuerpo mineralizado a explotar, sus leyes y distancias a los accesos principales de la mina.

a) Largo y ancho del bloque

Dependen de la continuidad de la mineralización, leyes y distancias a los accesos principales de la mina.

b) Altura del bloque

Depende de las potencias de los mantos mineralizados, leyes y de la potencia de las intercalaciones de estéril que se presenten en el yacimiento.

c) Diseño de bloques internos

El largo y ancho de los bloques internos, están definidos por las dimensiones del bloque mayor. Su altura se define por la capacidad de producción requerida por la mina para sustentarse económicamente.

2.5.1.3 Labores de preparación

Son labores mineras necesarias para poder explotar un cuerpo mineralizado, entre ellas tenemos pivotes y chimeneas de ventilación.

a) Pivotes

Se utilizan para acceder al nivel a explotar y se diseñan considerando los siguientes parámetros.

Pendiente: generalmente varía entre -12% a +12%, y depende de la cota de inicio del pivote.

b) Desarrollos de producción

La mayoría del avance es realizado por mineral, pasando algunas veces por tramos de estéril, llamados preparaciones internas. En los niveles encontramos labores en cara cerrada y en cara libre, dependiendo de si se explotó o no el sector en los niveles inferiores.

Para determinar el avance de la producción de cada nivel o tajada se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Labor estable y segura.
- Obtener la máxima recuperación del cuerpo mineralizado.
- Incluir bloques o sectores con ley menor a la ley de corte para acceder a sectores que por su volumen y ley justifican la extracción total.
- Procurar la utilización máxima posible de los pivotes de acceso al cuerpo mineralizado.

c) Secuencia de explotación

El diseño y secuencia de explotación se realiza definiendo primero el sector mineralizado con información, ya sea de modelo de bloques o de isoleyes generadas por geólogos de producción. La secuencia en general está definida por:

- Avance orientado según sistemas estructurales, diques y/o contacto litológico
- Ubicación de la chimenea de ventilación
- Ley de corte o ley mínima de isoleyes.

d) Relleno

La extracción y el relleno de material se debe planificar de tal forma que se realicen en paralelo en dos tajadas; es decir, mientras en la tajada inferior se rellena con material exógeno en la tajada superior se extrae mineral. De igual forma, en una misma tajada, se deben rellenar los sectores ya explotados mientras se extrae mineral de otros, esto para aumentar la productividad del método.

El material de relleno utilizado en el desarrollo de este método proviene de las labores interiores de la mina y en ocasiones, cuando este no es suficiente, se complementa con material de superficie.

e) Perforación y tronadura de producción CF

Inicialmente o en la primera tajada de extracción no existe una cara libre, por lo tanto, se debe efectuar un disparo cerrado acorde a la sección de producción del bloque.

Luego de extraer el material se comienza a rellenar la primera tajada dejando un espacio sin rellenar de 50 cm. Este espacio es aprovechado como cara libre en la extracción de la segunda tajada, con ello se reducen los tiros utilizados en el diagrama de disparo. Esto se realiza sucesivamente hasta completar la extracción del caserón.

Finalmente, se determinan los principales parámetros de diseño que se busca optimizar durante la aplicación del método de extracción:

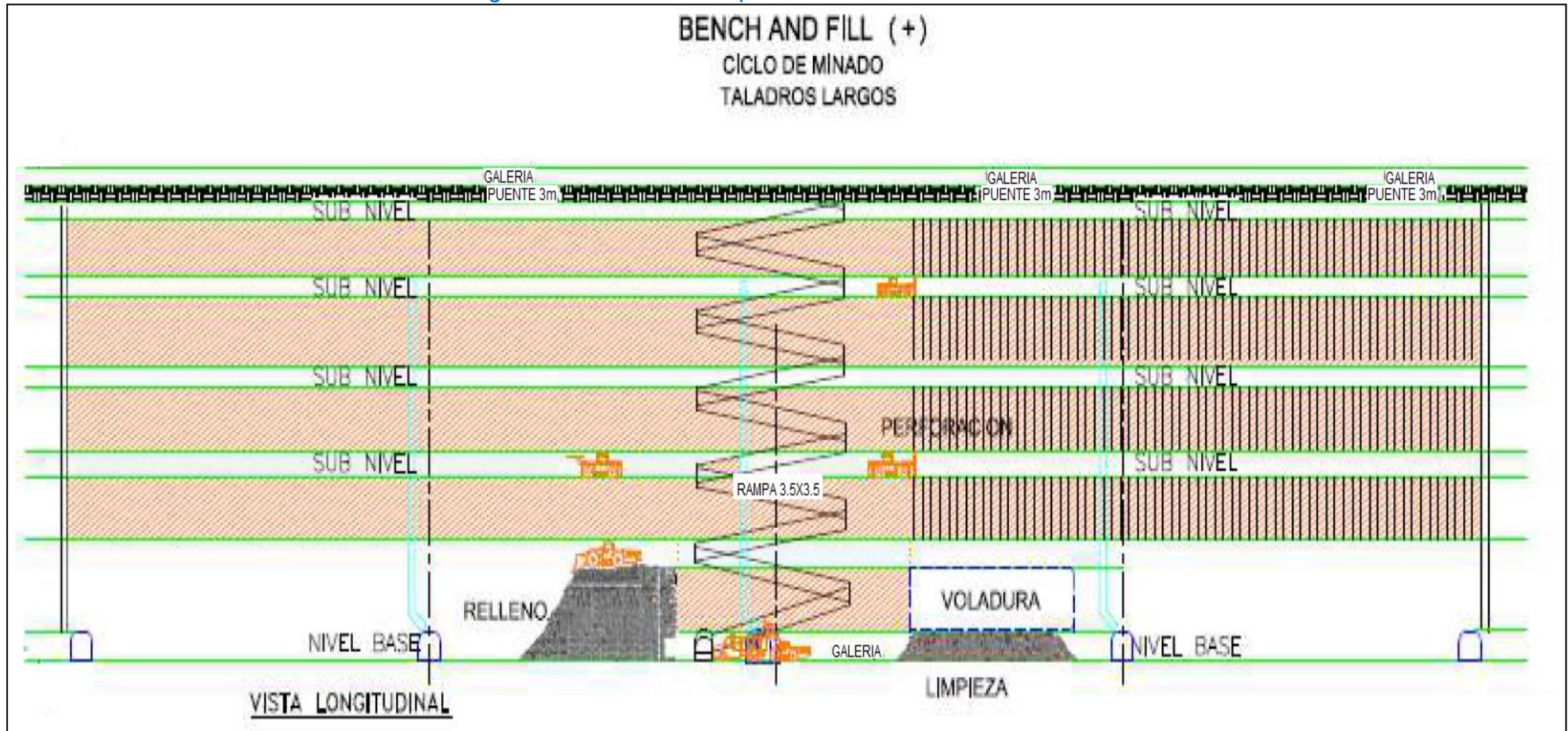
2.5.2 Bench and Fill en la Zona Pablo

El método de minado aplicado en la Mina Pallancata, es el Banqueo y Relleno (en adelante, —Bench and Fill) y Realce con Jumbo.

La forma de trabajo en este tipo de explotación es:

Extracción de mineral basado en la voladura de taladros largos y el relleno detrítico. Para esta opción de trabajo, se tomó en consideración la geomecánica y las dimensiones de la estructura. Asimismo, utilizando estas características se trabajó el diseño de la mina, teniendo las labores principales en la caja piso. El diseño del Bench and Fill esta principalmente basado en el comportamiento de las cajas que contienen a la estructura mineralizada (ver **Figura 12**).

Figura 12: Método de explotación Bench and Fill



Fuente: Elaboración propia

2.5.2.1 Ciclo de Minado – Bench and Fill

El método de bench & fill corresponde a una variante del anteriormente mencionado cut & fill, donde se obtiene una mejora en la productividad y una reducción de los costos de producción.

Esta variante del método se aplica en cuerpos de geometría vertical o casi vertical de dimensiones suficientes y una competencia de la roca que permitan la explotación del cuerpo por medio de banqueo. La secuencia de extracción es en retroceso y seguida por la implementación de relleno en avance.

a) Diseño de bloques

Para el diseño de los bloques o cámaras de explotación se debe considerar los siguientes aspectos técnicos:

Estabilidad del caserón:

- Análisis geotécnico
- Equipo de perforación
- Altura de cámaras de explotación

La altura del caserón se estima de acuerdo con el equipo de perforación a utilizar, teniendo siempre en cuenta que se cumpla con las condiciones de estabilidad requerida. Con el fin de aminorar la desviación de las perforaciones a realizar, estas se pueden hacer de forma descendente con equipos DTH.

b) Ancho de cámaras de explotación

El análisis para definir el ancho de una cámara de explotación está directamente relacionado con la estabilidad del bloque, siendo además necesario el uso de pilares.

2.5.2.2 Labores de preparación bench and fill

Labores mineras necesarias para la explotación de un bloque mineralizado del yacimiento (vías de transporte, accesos, ventilación, etc.). Entre estas se tiene el nivel de producción y el nivel superior de perforación.

a) Nivel de producción

El nivel de extracción consiste de una galería de transporte y estocadas de carguío, las cuales intersectan de tal manera que aseguran la continuidad del diseño a lo largo del nivel.

b) Galería de transporte

Su diseño debe permitir el movimiento expedito del equipo de carguío, evitando quiebres en el recorrido que reducen la velocidad y contribuyen al deterioro de las pistas. Además, debe tener una sección adecuada para tránsito de camiones.

c) Estocadas de extracción:

Se deben diseñar considerando que los equipos puedan transitar sin mayores dificultades, además que carguen alineados. Sus parámetros de diseño son:

- Longitud: variable y depende de las dimensiones de las cámaras de explotación, las que a su vez dependen de la geometría del bloque de mineral a extraer.

- Las distancias entre estocadas dependen del ancho de las unidades de explotación y de los pilares que le darán estabilidad al caserón.

d) Nivel superior de Perforación

El Nivel Superior tiene por objetivo la operación de los equipos DTH para perforaciones descendentes. En este caso su orientación es paralela al nivel de extracción, y sus parámetros de diseño son los mismos mencionados para el nivel de extracción.

e) Pivotes de acceso

Se utilizan para acceder al nivel a explotar y su excavación es por estéril. Su pendiente varía de -12% a + 12% dependiendo de la cota de inicio donde comience este pivote.

f) Secuencia de explotación

La secuencia de explotación de las unidades de explotación en un bloque consiste en la extracción de una cámara por medio. Primero se explotan las cámaras primarias, para posteriormente rellenar y explotar las cámaras restantes contra relleno. La secuencia operativa es:

- Perforación descendente
- Explotación de las cámaras primarias en retroceso
- Relleno de la cámara explotada
- Tronadura de cámara contra relleno
- Relleno faltante

g) Perforación y tronadura

El proceso de perforación para el método bench & fill se realiza de manera descendente, haciendo uso de un equipo perforador del tipo DTH con diámetro de perforación de 3 1/2". La tronadura de los pozos perforados se basa en la metodología de Ash, estableciendo parámetros para el burden y espaciamiento de los tiros cargados.

h) Relleno

La utilización de relleno en minería subterránea es un importante componente integral para un gran número de faenas subterráneas actualmente en operación, donde este proporciona un grado de estabilidad y seguridad que permite desarrollar los trabajos de manera confiable.

La selección del tipo de relleno a utilizar considera una amplia gama de disciplinas, incluyendo mecánica de suelos, mecánica de fluidos, ingeniería de procesos y tecnología de hormigones entre otras.

Relleno seco

El relleno seco consiste en material extraído de labores previas, el cual es depositado en las cavidades a rellenar por medio de métodos convencionales de carguío y transporte. Este tipo de relleno es no consolidado, donde sus principales propiedades y parámetros a considerar son:

- Peso del material
- Angulo de reposo
- Angulo de fricción
- Distribución granulométrica
- Cohesión aparente
- Densidad relativa
- Resistencia de corte

2.5.3 FUERZA LABORAL

La fuerza laboral de las zonas de Pablo y Yurika servirá para hacer el cálculo de caudal requerido para personal para el sistema de ventilación actual y el sistema de ventilación a mediano plazo. La fuerza laboral para los sistemas de ventilación actual y a mediano plazo se muestra en los **Cuadros 3 y 4**.

Cuadro 3. Fuerza laboral más Equipos Zona “Pablo”

Personas	164
Equipos	35
TOTAL	199

Fuente: Área de planeamiento – UM Pallancata

Cuadro 4. Fuerza laboral más Equipos Zona “Yurika”

Personas	179
Equipos	7
TOTAL	186

Fuente: Área de planeamiento – UM Pallancata

CAPITULO III

PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

3.1 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

- a) Las actividades se programaron para ser ejecutadas en 16 días de gabinete.
- b) Realizar la validación a detalle de la topografía, direcciones de flujo y caudales del sistema de ventilación actual de las zonas “Yurika” y “Pablo”.
- c) Revisar los proyectos de ventilación que se encuentren acorde a los ejes de ventilación, ingresos y salidas; y que permitan constituirse en el futuro la continuidad del minado en base a las reservas y los recursos del yacimiento.
- d) Realizar la simulación del sistema de ventilación con un grado de calibración del 90%.

3.2 SISTEMA DE VENTILACIÓN

3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA U.O. PALLANCATA

3.3.1 ZONA PABLO

El ingreso de aire para la zona “Pablo” es mediante el RB 01, que conecta al nivel 4322 por el CX 4323 y con el nivel 4306 con la cámara RB 01, el ingreso total de aire fresco es de 224,729 cfm. La zona “Pablo” tiene 07 niveles operativos: NV 4306, NV 4322, NV 4338, NV 4354, NV 4370, NV 4386 y el NV 4402; y 02 niveles en profundización: NV 4296 y NV 4280. Los niveles operativos se conectan mediante la RP 1930, que es una rampa en forma de “8”, que inicia en el NV 4306 y los niveles en profundización se conectan mediante la RP 1910, ambas rampas sirven para el traslado de los vehículos que operan en toda la zona; además, los niveles de “Pablo” se conectan mediante 05 chimeneas: CH 4308 (inyección de aire fresco a los niveles en profundización desde en NV 4322), CH 4306 (exclusivo para ventilación), CH 4307 y CH 4310 (echaderos de mineral) y CH 4312 (inyección de aire fresco a los niveles 4338, 4354 y 4370).

El aire de la zona “Pablo” es extraída por el RC 04 en mayor cantidad, que tiene instalado un ventilador ZITRÓN de 150 kcfm en superficie, el aire en menor porcentaje se evacúa por la RP 1950 que se dirige hacia la zona “Yurika”.

Para la ventilación auxiliar se utilizan ventiladores de marca AIRTEC y TOMOCORP de 50,000 cfm y 30,000 cfm conectados en serie (sistema de “pulmones”) haciendo uso de mangas de flexilona de polietileno, de 36”, 32”, 30” y 24” de diámetro.

3.3.2 ZONA YURIKA

La zona “Yurika” tiene 02 niveles: 4430 y 4380; que se conectan mediante la RP 1880; ésta zona tiene 05 RB’s: RB 01, RB 02, RB 03, RB 04. y RB 05, además se unen por las chimeneas: CH 1948, CH 1948-2 y CH 1956.

El aire ingresa por el CX 1720 desde zonas más antiguas (“Luisa”, “Carmen”, etc.).

RB's 02, 03 y 04 desde superficie, y por la RP 1950 desde "Pablo".

Para la extracción de aire se utiliza un ventilador AIRTEC de 150,000 cfm, instalado en la superficie del RB 05, y un ventilador AIRTEC de 110,000 cfm instalado también en superficie del RB 01.

En "Yurika" se hace uso de ventiladores de marca AIRTEC con capacidad de 30,000 cfm conectados en serie (sistema de "pulmones") haciendo uso de mangas de flexilona de polietileno, de 36", 32", 30" y 24" de diámetro.

3.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se detallan las actividades:

- a) Identificar las estaciones principales de validación (aforo de entrada y salida de aire).
- b) Identificar estaciones secundarias de ventilación (en todo el circuito).
- c) Medición de la resistencia de los tapones.
- d) Ingresar los datos de campo (input) al software Ventsim Design 5.1 para la simulación y calibración del modelo.

3.5 SISTEMA DE VENTILACION ACTUAL

3.5.1 ZONA "PABLO"

a) AFORO DE CAUDALES

El ingreso del caudal de aire fresco a zona "Pablo" se obtiene por el RB 01, el ingreso de aire total es **233,813 cfm** (ver **Cuadro 5**).

Cuadro 5: Resumen de ingreso de aire Zona "Pablo"

	UBICACIÓN			AREA	VELOCIDAD	CAUDAL	DIST.
	Nivel	Labor	Detalle	m2	m/min	cfm	(%)
EP- 01	4322	CX. 4323 NE	Pie de RB 01 - Pablo	11.88	534	223,969	96%
EP- 02	4306	CA RB-01	Manga de ventilación	0.65	429	9,844	4%
TOTAL						233,813	100%

Fuente: Elaboración Propia

EL eje principal de extracción de la zona “Pablo” es por la chimenea RC 02, otra salida de aire es por la RP 1950, el total de aire viciado que sale es 230,407 cfm (ver **Cuadro 6**).

Cuadro 6. Resumen de salida de aire Zona “Pablo”

Estac.	UBICACIÓN			AREA	VELOCIDAD	CAUDAL	DIST.
	Nivel	Labor	Detalle	m2	m/min	cfm	(%)
EP-01	Superficie	RC 02	FAN 150 kcfm	2.01	2,537	180,150	78%
EP-02	4306	RP 1950	ale del Taller y del Nv 430	19.39	73	50,257	22%
TOTAL						230,407	100%

Fuente: Elaboración Propia

En resumen, entre los ingresos y salidas de aire existe una diferencia de 3,406 cfm (ver **Cuadro 7**).

Cuadro 7. Diferencia ingresos y salidas de aire Zona “Pablo”

RESUMEN	CAUDAL (cfm)
TOTAL INGRESO	233,813
TOTAL SALIDA	230,407
DIFERENCIA	3,406
% DIFERENCIA	1.46%

Fuente: Elaboración Propia

NOTA: La diferencia entre los flujos de entrada y salida de aire se debe a la recirculación de aire detectada en los ventiladores de la chimenea 4312 (02 de 50 kcfm y 01 de 120 kcfm).

3.5.2 Cálculo de cobertura

3.5.2.1 Requerimiento de Caudal de Aire para Labores de Desarrollo.

El caudal de aire para mina Subterránea está de acuerdo a la siguiente norma vigente “DS – 023-2017-EM”.

Para tener un cálculo de caudal óptimo para minería subterránea se calcula lo siguiente:

- Caudal de aire según el equipo DIESEL.
- Caudal de aire para el personal que trabaja en interior mina.
- Caudal de aire para evacuar gases de voladura.
- Caudal de aire para Madera y fugas.

a) Requerimientos de aire para Personal (Q_{Tr})

Según el Decreto Supremo DS – 023-2017-EM. En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta 1,500 msnm, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de 3 m³/min. La cantidad de aire en altitudes más elevadas estará de acuerdo a la siguiente escala:

- De 1,500 a 3,000 msnm se incrementará en 40% que será igual a 4 m³/min
- De 3,000 a 4,000 msnm se incrementará en 70% que será igual a 5 m³/min
- Sobre los 4,000 msnm se incrementará en 100% que será igual a 6m³/min

Para determinar el caudal de aire se multiplica el requerimiento por persona con el factor 6m³/min debido a que la unidad minera Pallancata se encuentra a 4300 msnm por el número de personas dentro de las labores mineras obteniéndose un caudal de 984 m³/min (ver **Cuadro 8**). El cálculo se muestra a continuación.

$$Q_{Tr} = \text{Número de personas} \times \text{Factor}$$

$$Q_{Tr} = 164 \times 6$$

$$Q_{Tr} = 984 \text{ m}^3/\text{min}$$

Cuadro 8: Personal que ingresa a mina

Número de personas	Factor (6m ³ /min a más de 4000 msnm)	m ³ /min
164	6	984

Fuente: Elaboración propia

b) Requerimiento de aire para Equipos a petróleo (Q_{Eq})

Según el anexo 38 del reglamento del DM-023-2017-EM. El caudal requerido para equipos a diésel está dado por la siguiente ecuación:

$$Q_{Eq} = 3 \times HP \times D_m \times F_u \text{ (m}^3\text{/min)}\text{-----(1)}$$

Donde:

Q_{Eq} = Volumen de aire necesario para la ventilación (m³/min);

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs);

D_m = Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%);

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

La información dada es de la U. O. Pallancata por el área de productividad, disponibilidad mecánica 60% y el factor de utilización promedio es 60%.

En el **Cuadro 9** se muestran los parámetros utilizados para la determinación del requerimiento de aire para equipos a petróleo (Q_{eq}) en pies cúbicos por minuto, este procedimiento se detalla a continuación.

$$Q_{eq} = \text{Potencia total} \times \text{Factor} \times D_m \times F_u$$

$$Q_{eq} = 8048.15 \times 3 \times 0.6 \times 0.6$$

$$Q_{eq} = 8692 \text{ m}^3\text{/min}$$

Cuadro 9: Requerimiento de caudal para equipos a petróleo

Número de equipos	Potencia total HP	Factor	Disponibilidad Mecánica D_m (%)	Factor de utilización F_u (%)	Caudal requerido Q_{eq} m ³ /min
35	8048.15	3	0.6	0.6	8692

Fuente: Elaboración propia

c) Requerimiento de caudal por consumo de madera (Q_{Ma})

La calidad de la roca en interior mina es buena por lo tanto no se requiere la madera que sería utilizado en el sostenimiento, el caudal por consumo de madera es cero.

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

El caudal de aire es necesario para el NV 4280 porque registra temperaturas mayores a 23°C. Por la metodología dada por el anexo 38 del DM-023-2017-EM, donde detalla la siguiente ecuación:

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

Donde:

Q_{Te} = Caudal por temperatura (m³/min);

V_m = Velocidad mínima;

A = Área de la labor promedio;

N = Número de niveles con temperatura mayor a 23°C

Cuadro 10. Velocidad mínima para una temperatura dada

TEMPERATURA SECA (°C)	VELOCIDAD MÍNIMA (m/min)
< 24	0.00
24 a 29	30.00

Fuente: Anexo 38 del DS 023 2017 EM

Debido a que el NV 4280 tiene temperaturas mayores a 23°C, se calculó el requerimiento de caudal de aire por temperatura para este nivel. Para obtener el requerimiento de caudal por temperatura se multiplica el área de la sección de las labores A m² por la velocidad requerida V_m por el número de niveles a ventilar (ver **Cuadro 11**). El cálculo realizado se detalla a continuación.

$$Q_{Te} = A \times V_m \times \text{Numero de niveles a ventilar}$$

$$Q_{Te} = 23.17 \times 30 \times 1$$

$$Q_{Te} = 695.1 \text{ m}^3\text{/min}$$

Cuadro 11. Cálculo de requerimiento de caudal por temperatura

Sección promedio de labores, A m ²	Velocidad requerida V_m m/min	Numero de niveles a ventilar	Requerimiento de caudal por temperatura Q_{Te} m ³ /min
23.17	30	1	695.1

Fuente: Elaboración propia

a) Caudal requerido por fugas (Q_{Fu})

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{T1} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}$$

Para determinar el caudal requerido por fugas (Q_{Fu}) es necesario primero determinar el caudal total Q_{T1} que es igual al requerimiento de aire para personas Q_{Tr} que es 984 m³/min más el caudal de aire por temperatura, según los cálculos es 695.1 m³/min debido a que la temperatura en el NV 4280 es mayor a 23°C a partir de los cuales se considera el caudal de aire para la ventilación por temperatura según el reglamento del DS 023 2017 EM .El caudal requerido por madera Q_{Ma} , en esta Unidad operativa de Pallancata no se usa sostenimiento con madera debido a que se usa relleno detrítico y sistemas de sostenimiento metálico, El caudal requerido por equipos Q_{Eq} es de 8693 m³/min. Por lo cual se obtiene de la suma de $Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}$ un resultado de 10372 m³/min. Por consiguiente, el caudal requerido por fugas es igual a 15%x (10371) que es igual a 1556 m³/min (ver **Cuadro 12**). Los cálculos se detallan a continuación.

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}$$

$$Q_{T1} = 984 + 695 + 0 + 8692$$

$$Q_{T1} = 10371 \text{ m}^3\text{/min}$$

$$Q_{Fu} = 0.15 \times Q_{T1}$$

$$Q_{Fu} = 1556$$

Cuadro 12: Requerimiento para gases de voladura

Q_{Tr} m ³ /min	Caudal requerido por personal	984
Q_{Te} m ³ /min	Caudal requerido por Temperatura	695
Q_{Ma} m ³ /min	Caudal requerido por Madera	0
Q_{Eq} m ³ /min	Caudal requerido por Equipos	8692
Q_{T1} m³/min	Caudal requerido Total	10371
Q_{Fu} m ³ /min	Caudal requerido por fugas	1556

Fuente: Elaboración propia

b) Requerimiento

Para obtener el requerimiento global de ventilación se sumó el caudal requerido por personal más el caudal requerido por consumo de madera más el caudal requerido por temperatura en labores más el requerimiento por equipos diésel más el caudal requerido por fugas obteniéndose un caudal total de 11927 m³/min.

Cuadro 13. Resumen de requerimiento de aire Zona "Pablo"

Distribución Requerimientos	m ³ /min	cfm
QTr: Personas (164 trabajadores)	984	34,750
QMa: Consumo de Madera (<20%)	-	-
QTe: Temperatura en Labores (>24 °C, NV 4280)	695	24,526
QEq: Equipos Diesel (35 equipos; 8,861 HP)	8,693	306,992
Caudal Requerido QT1 = QTr+Qma+Qte+Qeq	10,371	366,268
QFu: Caudal Requerido por Fugas (15%*Qto)	1,556	54,940
Caudal Requerido Qto=QT1+Qfu	11,927	421,208

Fuente: Elaboración propia

c) Cobertura

La zona "Pablo" requiere de 421,208 cfm, comparado con el ingreso de aire, tiene una cobertura de 56% (ver **Cuadro 14**).

Cuadro 14. Resumen cobertura de aire Zona "Pablo"

Balance Total de Aire		
Caudal de Aire	m ³ /min	cfm
Total de aire requerido	11,927	421,208
Ingreso de aire a mina	6,621	233,813
Salida de aire	6,524	230,407
Cobertura (%)	56	
Déficit (cfm)	187,395	

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 ZONA “YURIKA”

a) Aforo De Caudales

En total el caudal que ingresa es de **287,934 cfm** de aire a ésta zona. Como se muestra en el **cuadro 15**.

Cuadro 15. Resumen de ingreso de aire Zona “Yurika”

Estac.	UBICACIÓN			AREA	VELOCIDAD	CAUDAL	DIST.
	Nivel	Labor	Detalle	m2	m/min	cfm	(%)
EP- 01	SUP.	RB 02	Cabeza de RB 02	4.52	168	26,893	9%
EP- 02	SUP.	RB 03	FAN 30 KCFM	0.64	1782	40,035	14%
EP- 03	SUP.	RB 04	Cabeza de RB 04. 90% obstrucción	0.19	771	5,135	2%
EP-04	4306	RP 1950	Salida del Taller v del Nv 4306	19.39	73	50,257	17%
EVS-214430	CX 1720 NW		A 5m antes de ingreso Yurika	21.56	218	165,613	58%
TOTAL						287,934	100%

Fuente: Elaboración Propia

El total de aire viciado que sale de la zona “Yurika” se determinó en **302,215 cfm**. Como se aprecia en el **Cuadro 16**

Cuadro 16. Resumen de salida de aire Zona “Yurika”

Estac.	UBICACIÓN			AREA	VELOCIDAD	CAUDAL	DIST.
	Nivel	Labor	Detalle	m2	m/min	cfm	(%)
EP-01	SUP.	RB 05	FAN 150KCFM	2.01	2,439	173,158	57%
EP-02	SUP.	RB 01	FAN 110KCFM	1.77	2,068	129,057	43%
TOTAL						302,215	100%

Fuente: Elaboración Propia

En resumen, entre los ingresos y salidas de aire existe una diferencia de 14,280 cfm. Como se aprecia en el **Cuadro 17**.

Cuadro 17. Diferencia ingresos y salida de aire Zona “Yurika”

AFOROS	CAUDAL (cfm)
TOTAL INGRESO	287,934
TOTAL SALIDA	302,215
DIFERENCIA	-14,280
% DIFERENCIA	-5%

Fuente: Elaboración Propia

3.5.4 Cálculo de cobertura

3.5.4.1 Requerimiento de Caudal de Aire para Labores de Desarrollo.

Se verifica y mediante un análisis de la norma “DS – 023-2017-EM”, en ventilación de minas subterráneas.

Enfocándonos en esta norma se realizaron los cálculos de caudal de aire necesario para ventilar correctamente las labores de desarrollo, según los equipos Diésel usados, el personal que labora en interior mina y la evacuación de los gases tóxicos producto de las voladuras también como uso de madera y fugas por daños en las mangas de ventilación.

e) Requerimientos de aire para Personal (Q_{Tr})

De acuerdo al Decreto Supremo DS – 023-2017-EM. En los lugares de trabajo ubicadas hasta 1,500 msnm, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de 3 m³/min. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

De 1,500 a 3,000 msnm se incrementará en 40% que será igual a 4 m³/min

De 3,000 a 4,000 msnm se incrementará en 70% que será igual a 5 m³/min

Por encima de los 4,000 msnm se incrementará en 100% que será igual a 6m³/min.

Mediante el DM-023-2017-EM se determinará el caudal óptimo para el personal que trabaja en interior mina, se multiplica el caudal de aire por persona por 6m³/min debido a que la unidad minera Pallancata se encuentra a 4300 msnm por el número de personas dentro de las labores mineras obteniéndose un caudal de 984 m³/min (ver **Cuadro 18**). El cálculo se muestra a continuación.

$$Q_{Tr} = \text{Número de personas} \times \text{factor}$$

$$Q_{Tr} = 179 \times 6 = 1074$$

Cuadro 18: Personal que ingresa a mina

Número de personas	Factor (6m3/min a más de 4000 msnm)	m3/min
179	6	1,074

Fuente: Elaboración propia

f) Requerimiento de aire para Equipos a petróleo (Q_{Eq})

Según el anexo 38 del reglamento DM-023-2017-EM. El caudal exigido para equipos a combustión diésel está dado por la siguiente ecuación:

$$Q_{Eq} = 3 \times HP \times D_m \times F_u \text{ (m}^3\text{/min)} \dots (1)$$

Donde:

Q_{Eq} = Volumen de aire necesario para la ventilación (m³/min);

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs);

D_m = Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%);

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

Para aplicar la formula detallo que la disponibilidad mecánica es 60% y el factor de utilización promedio es también 60% que es información dada por el área de productividad.

En el **Cuadro 19** se detalla el proceso de determinación del requerimiento de aire para equipos a petróleo (Q_{Eq}) en pies cúbicos por minuto, cfm aplicando la formula, se multiplico 3 por la cantidad de equipos por la Capacidad efectiva de potencia (HP) por la disponibilidad mecánica promedio de los equipos (D_m) por el factor de utilización promedio de los equipos obteniendo la columna de volumen de aire necesario para la ventilación Q_{Eq}.

$$Q_{eq} = \text{Potencia total} \times \text{Factor} \times D_m \times F_u$$

$$Q_{eq} = 2190.74 \times 3 \times 0.6 \times 0.6$$

$$Q_{eq} = 2366 \text{ m}^3\text{/min}$$

Cuadro 19: Requerimiento de caudal para equipos a petróleo

Número de equipos	Potencia total HP	Factor	Disponibilidad Mecánica D _m (%)	Factor de utilización F _u (%)	Caudal requerido m3/min
7	2190.74	3	0.6	0.6	2366

Fuente: Elaboración propia

d) Requerimiento de caudal por consumo de madera (Q_{Ma})

No se requiere caudal para gases producidos por la madera debido a que no se utiliza madera en el sostenimiento de las labores debido a que la calidad de roca es buena.

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

Se requerirá caudal debido a temperatura para el NV 4280 donde se registra unas temperaturas mayores a 23°C. Se siguió la metodología dada por el anexo 38 del DM-023-2017-EM, el cual indica:

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

Donde:

Q_{Te} = Caudal por temperatura (m³/min);

V_m = Velocidad mínima;

A = Área de la labor promedio;

N = Número de niveles con temperatura mayor a 23°C

Debido a que la zona Yurika no tiene temperaturas mayores a 23°C, el requerimiento por temperatura para esta zona es de 0.

f) Caudal requerido por fugas (Q_{Fu})

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{T1} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}$$

Para determinar el caudal requerido por fugas (Q_{Fu}) es necesario primero calcular el caudal total exigido Q_{T1} que es igual al requerimiento de caudal aire para personal Q_{Tr} es 1074 m³/min más el caudal de aire requerido por temperatura es 0 porque no hay labores con temperaturas mayores a 23°C. El caudal de aire requerido por madera Q_{Ma} , es cero "0" esto se debe a que se usa relleno detrítico y sistemas de sostenimiento metálico.

El caudal requerido por equipos Q_{Eq} es de 2366 m³/min. De donde se obtiene la sumatoria de $Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}$ un resultado de 3440 m³/min. Finalmente el caudal requerido por fugas es igual a 15% \times (3440) que es igual a 3957 m³/min (ver **Cuadro 20**). se detallan los cálculos realizados.

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}$$

$$Q_{T1} = 1074 + 0 + 0 + 2366$$

$$Q_{T1} = 3440 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Fu} = 0.15 \times Q_{T1}$$

$$Q_{Fu} = 516$$

Cuadro 20: Requerimiento para gases de voladura

Q_{Tr} m ³ /min	Caudal requerido por personal	1074
Q_{Te} m ³ /min	Caudal requerido por Temperatura	0
Q_{Ma} m ³ /min	Caudal requerido por Madera	0
Q_{Eq} m ³ /min	Caudal requerido por Equipos	2366
Q_{T1} m ³ /min	Caudal requerido Total	3440
Q_{Fu} m ³ /min	Caudal requerido por fugas	516

Fuente: Elaboración propia.

g) Requerimiento

Para obtener el requerimiento global de ventilación se sumó el caudal requerido por personal más el caudal requerido por consumo de madera más el caudal requerido por temperatura en labores más el requerimiento por equipos diésel más el caudal requerido por fugas obteniéndose un caudal total de 3440 m³/min.

Cuadro 21. Resumen de requerimiento de aire Zona “Yurika”

Distribución Requerimientos	m3/min	cfm
QTr: Personas (179 trabajadores)	1,074	37,928
QMa: Consumo de Madera (<20%)	-	-
QTe: Temperatura en Labores (>24 °C)	0	0
QEq: Equipos Diesel (7 equipos; 1,722 HP) + (17 equipos en tránsito)	2,366	83,571
Caudal Requerido QT1 = QTr+Qma+Qte+Qeq	3,440	121,499
QFu: Caudal Requerido por Fugas (15%*Qto)	516	18,225
Caudal Requerido Qto=QT1+Qfu	3,957	139,724

Fuente: Elaboración Propia.

b) Cobertura

Después de plantear el escenario más crítico, “Yurika” requiere 139,724 cfm., como se aprecia en el **Cuadro 21**. Con el ingreso actual de aire tiene una cobertura de 206%, como se aprecia en el **Cuadro 22**.

Cuadro 22. Resumen de cobertura de aire Zona “Yurika”

Síntesis Total de Aire		
Caudal de Aire	m3/min	cfm
Total de caudal de aire requerido	3,957	139,724
Ingreso de caudal de aire a mina subterránea	8,153	287,934
Salida de caudal de aire de interior mina	8,558	302,215
Cobertura (%)	206	
Superávit (cfm)	148,210	

Fuente: Elaboración Propia.

3.6 Diagnóstico Modelo Ventsim™ Actual

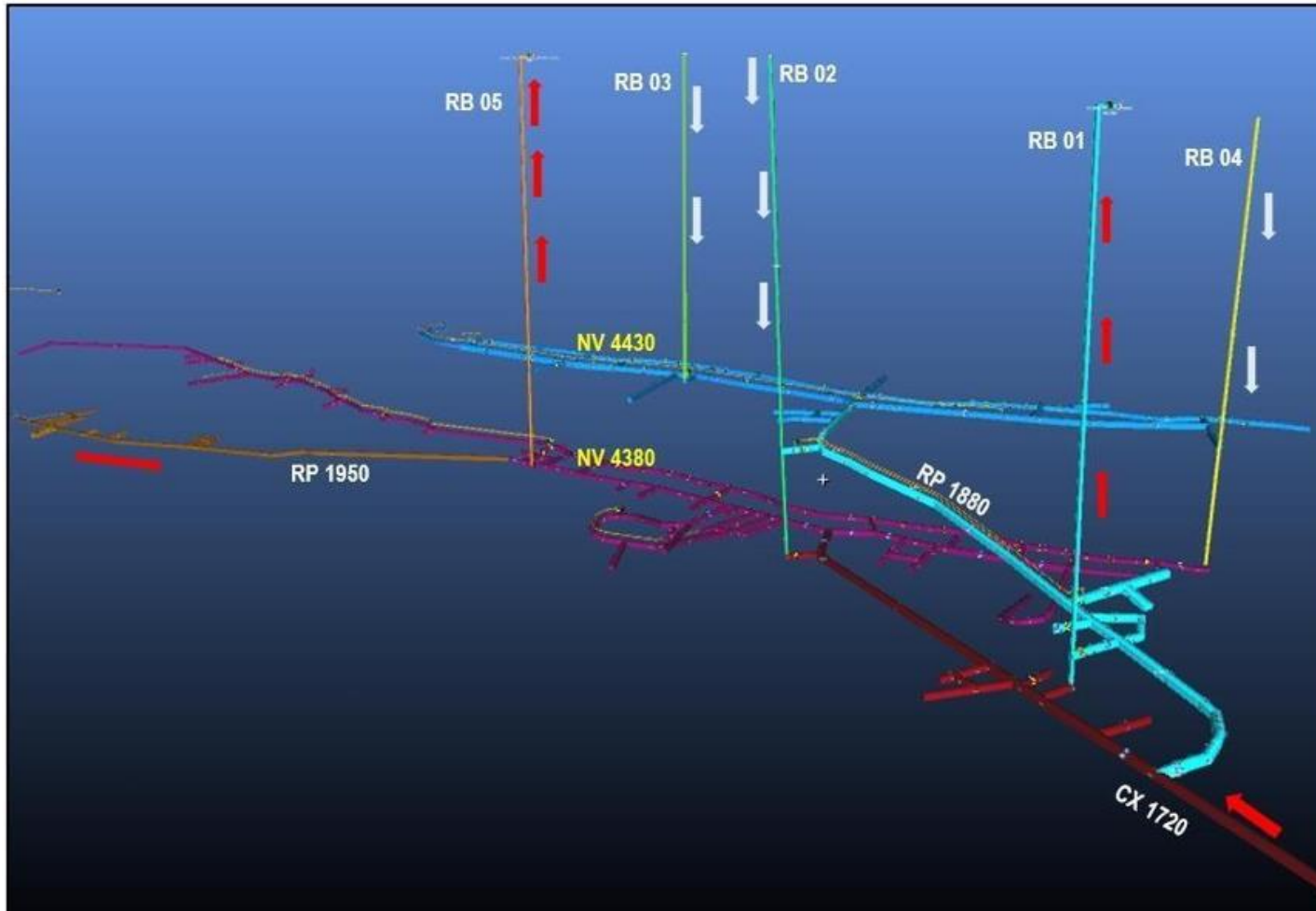
El modelamiento de las zonas “Yurika” y “Pablo” se realizó con la data topográfica entregada por el área de Topografía y Planeamiento de la U.O Pallancata. Se realizó la verificación de la data (tamaño de las secciones, ubicación de los niveles y conexión de las labores) con el modelo de la mina en MINESIGH.

3.7 Modelamiento De Las Zonas “Yurika” Y “Pablo”

El modelamiento de la U.O. Pallancata en el software VentsimTM Design 5.1 se encuentra al 100%, se identificó la topografía en su totalidad, y cuenta con el visto bueno de las áreas de Planeamiento y Servicios Mina, se hizo el mapeo total de las zonas “Yurika” y “Pablo”.

La zona “Yurika” tiene 02 niveles: 4430 y 4380, que se conectan mediante el BP 1880 y el CX 1720. El aire ingresa por el CX 1720, RB 02, RB 03, RB 04 y la RP 1950; y sale por el RB 01 y el RB 05 (ver la **Figura 13** y el **Anexo1**, Plano – Sistema de Ventilación actual).

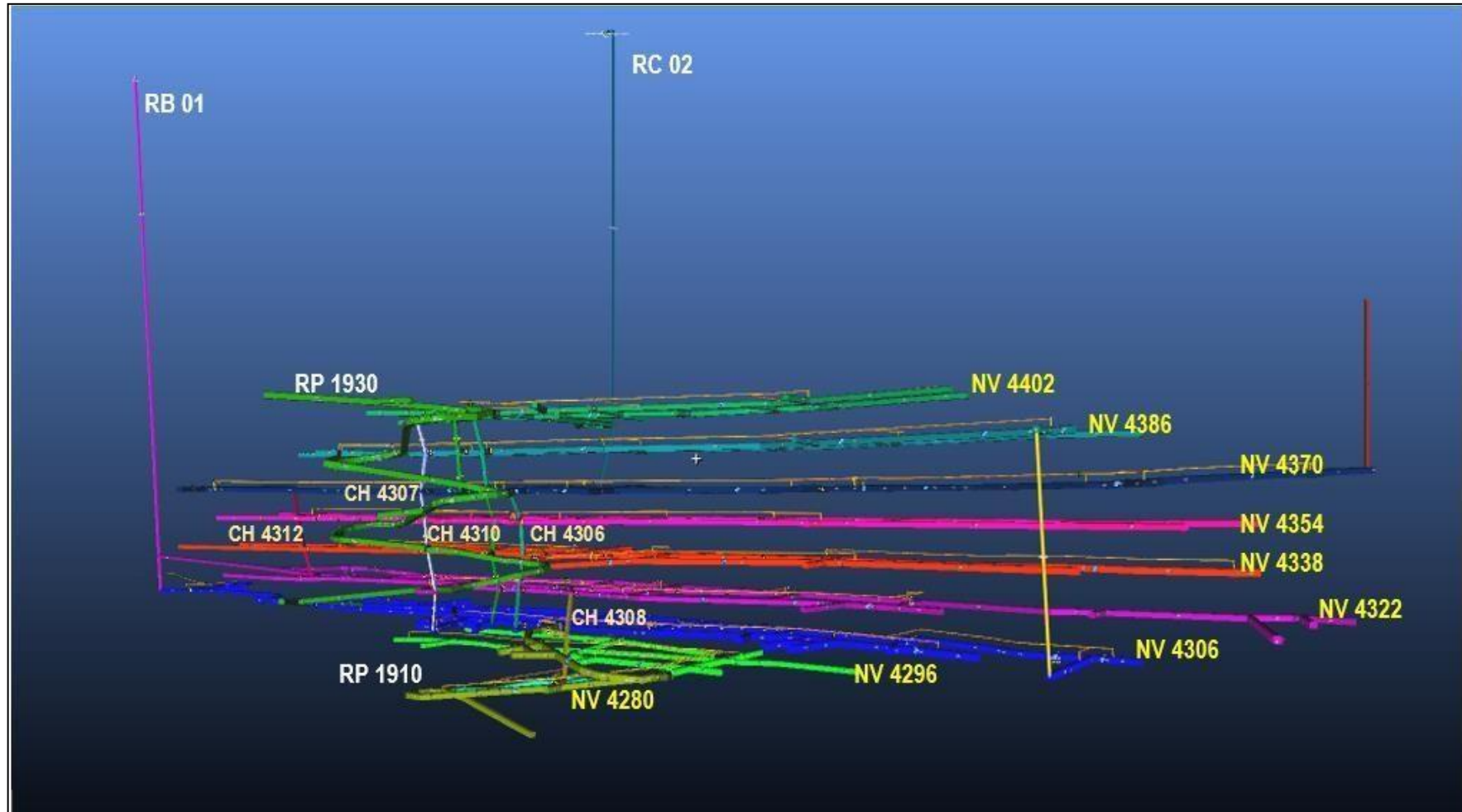
Figura 13: Modelo Ventsim™ Design 5.1 – Zona “Yurika”



Fuente: Simulación en Ventsim

La zona "Pablo" tiene 09 niveles: 4280, 4296, 4306, 4322, 4338, 4354, 4370, 4386 y 4402; que se conectan mediante la RP 1930, RP 1910, CH 4308, CH 4306, CH 4310, CH 4307. El aire ingresa por el RB-01 y sale por el RC-02 y la RP 1950 (ver **Figura 14**).

Figura 14. Modelo Ventsim™ Design 5.1 – Zona “Pablo”



Fuente: Simulación en Ventsim

3.7.1 Parámetros Ambientales

Para la implementación y calibración del modelo de ventilación de la U. O. Pallancata se ingresaron datos vistos en capítulos anteriores (resistencia, altitud, temperatura, densidad, presión, costos de energía), como se aprecia en el **Cuadro 23**.

Cuadro 23. Parámetros ambientales Ventsim™ Design 5.1

Medio ambiente	
[RESET]	No
Aire densidad de flujo compresible	0.73 kg/m ³
Ajuste temperatura superficie	Si
Año actual	2018.775
Calor específico de la roca	800.0 J/kgC
Conductividad Térmica de la roca	3.00 W/mC
Densidad de la roca (Opcional si se establece difusividad)	2,698 kg/m ³
Densidad del Aire en la red	0.73 kg/m ³
Difusividad térmica de la roca	1.390 m ² /s 10-6
Edad del conducto de aire	30.000 años
Elevación superficial de la rejilla de la mina	4,431.1 m
Fracción de la humedad de la roca	0.3
Gradiente geotérmico	2.0 C/100m
Presión barométrica en la superficie	60.1 kPa
Superficie atmosférica tasa de lapso	6.4 C/1000m
Superficie de referencia elevación sobre el nivel del mar	4,190.8 m
Temperatura de la roca superficial	5.0 C
Temperatura del bulbo húmedo en la superficie	8.9 C
Temperatura del bulbo seco en la superficie	12.1 C

Fuente: Simulación en Ventsim

3.7.2 Resumen De La Red Actual

En el resumen de Ventsim™ Design 5.1, se muestran los caudales de admisión **468,901 cfm**, y caudal de aire de escape **481,086 cfm**. Éstos caudales representan el total de ingreso y salida de todo el modelo simulado (“Yurika” y “Pablo”); el total de aire que ingresa de acuerdo con los cálculos es de **516,388 cfm**, éste desbalance entre el campo y el modelo Ventsim se debe a que en los cálculos se considera **48,432 cfm** como salida de “Pablo” y a la vez como ingreso de “Yurika”.

Por lo que se realiza la operación: **516,388 cfm – 48,432 cfm = 467,956 cfm**; éste último valor es idéntico al del simulado en Ventsim Design, como se aprecia en el **Cuadro 24**.

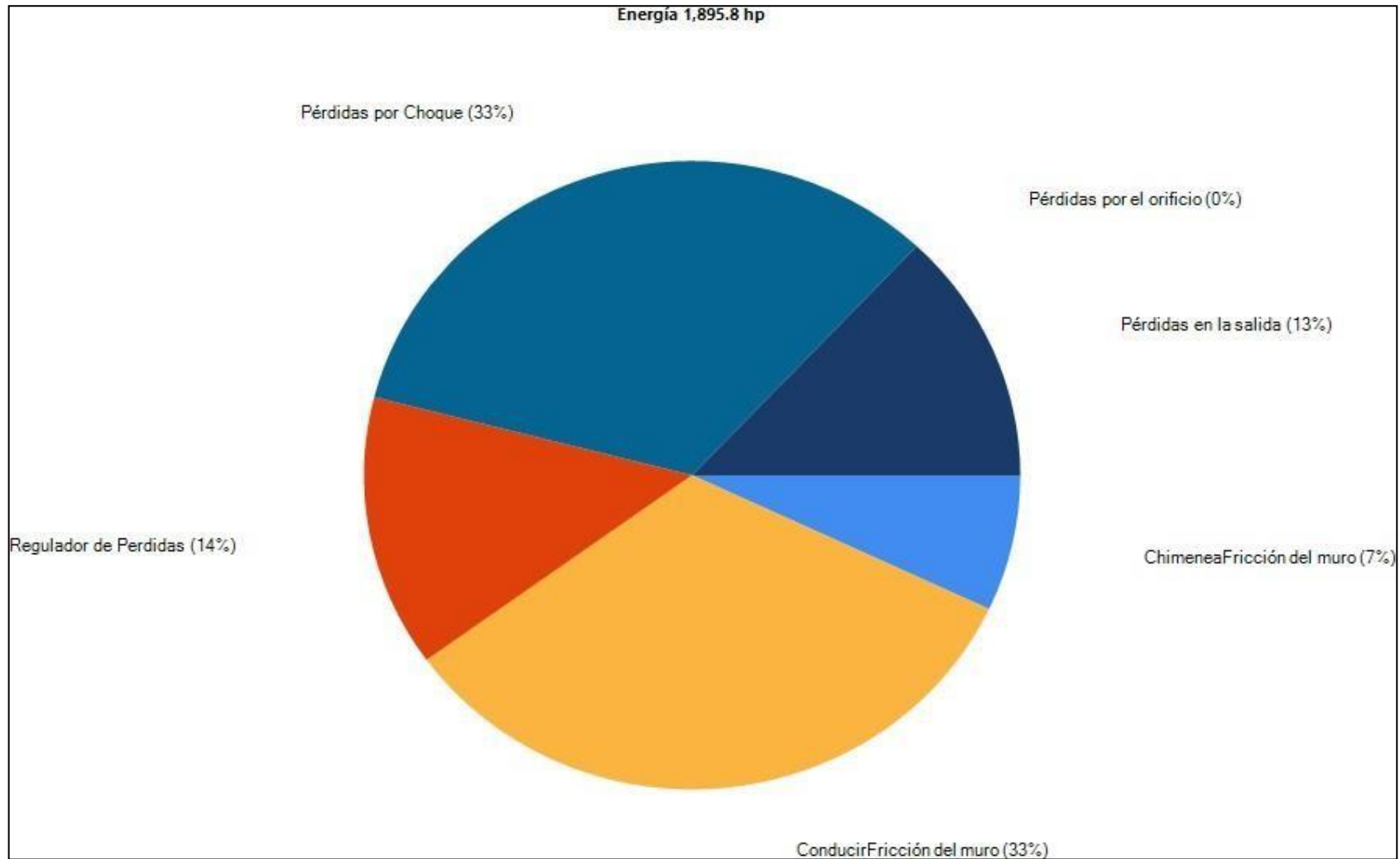
Cuadro 24: Resumen de la red, estado actual.

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapas	0: Actual
Todos los conductos de aire	2949
Actual etapas conductos	2049 y 56 Exclusión
Longitud total	31,595.2 m
Caudal de aire total de admisión	468,901 cfm
Caudal de aire total de escape	481,086 cfm
Flujo de masa total	158.48 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.03278 PU
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.07327 PU

Fuente: Simulación en Ventsim

3.7.3 Distribución De Pérdidas De Energía

Grafico 1: Distribución de las pérdidas de energía, estado actual.



Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia la distribución de las pérdidas de energía dentro del sistema, de éste modo se determina que las mayores pérdidas se encuentran en Pérdidas por choque (33%), labores horizontales (33%), regulador de pérdidas (14%), pérdidas en la salida (13%), mangas de ventilación (7%), pérdidas por orificio (0%).

3.7.4 Curva Característica De Resistencia en Mina.

La fórmula en Ventilación de Minas se representa en un sistema cartesiano, en el eje "X" se representa el caudal (Q). en el eje "Y" se ubica la caída de presión (H) Cualquier labor y/o conjunto de labores, formando un circuito de ventilación está representado por la relación:

$$H = R \times Q^2$$

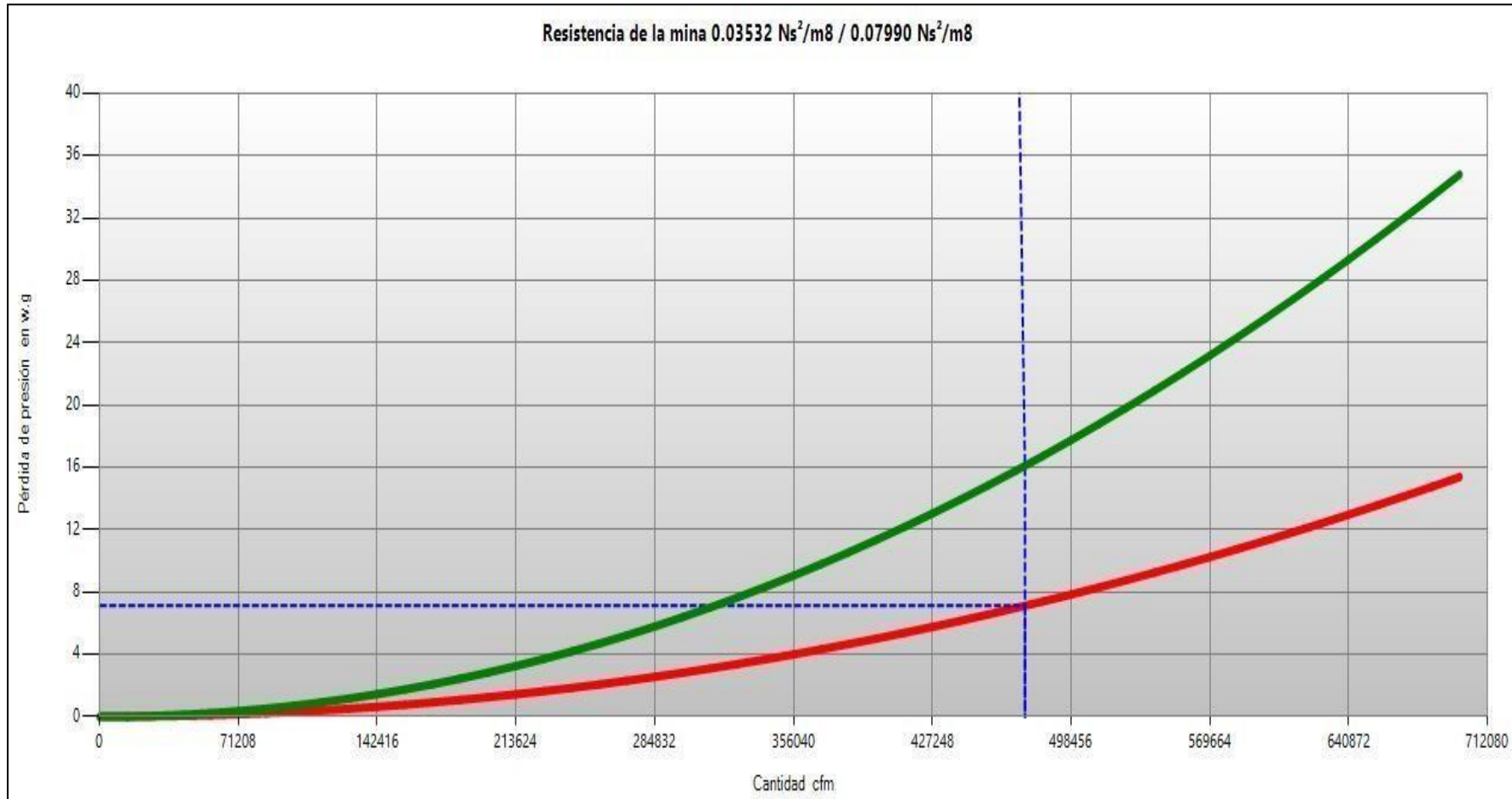
Donde:

H: Presión del sistema en Pascales (Pa)

R: Resistencia de la mina ($\frac{Ns^2}{m^2}$)

Q: Caudal total de ingreso de aire ($\frac{m^3}{s}$)

Grafico 2. Curva de resistencia de la mina Pallancata



Fuente: Simulación en Ventsim.

La resistencia del sistema de la mina Pallancata es de **0.033 PU** (sólo ventilación principal, no se considera las mangas de ventilación) y **0.073 PU** (considerando las mangas de ventilación).

3.7.5 CORRELACIÓN DE AFORO – INGRESOS Y SALIDAS DE AIRE

a) Zona “Pablo”

La simulación de los ingresos y salidas del sistema de ventilación actual de la zona “Pablo” en el software Ventsim™ Design tiene en promedio una variación de 1.1% (ver **Cuadro 25**) en los ingresos y 1% en las salidas respecto a la mina en realidad (ver **Cuadro 26**).

Cuadro 25: Correlación de ingresos de aire – Zona “Pablo”

Estac.	UBICACIÓN			AREA	VELOCIDAD	CAUDAL CAMPO	CAUDAL VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	Detalle	m2	m/min	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EP-01	4322	CX. 4323 NE	Pie de RB 01 - Pablo	11.88	534	223,969	221,430	1.1%	100%	101%
EP-02	4306	CA RB-01	Manga de ventilación	0.65	429	9,844	9,311	5.4%	100%	106%
TOTAL						233,813	230,741	1.3%		

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 26: Correlación de salidas de aire – Zona “Pablo”

Estac.	UBICACIÓN			AREA	VELOCIDAD	CAUDAL	CAUDAL VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	Detalle	m2	m/min	cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EP-01	Superficie	RC 02	FAN 150 kcfm	2.01	2,537	180,150	177,710	1%	100%	101%
EP-02	4306	RP 1950	ale del Taller y del Nv 430	19.39	73	50,257	53,516	-6%	100%	94%
TOTAL						230,407	231,226	-0.36%		

Fuente: Elaboración Propia

b) Zona “Yurika”

La simulación de los ingresos y salidas del sistema de ventilación actual de la zona “Yurika” en el software Ventsim™ Design tiene en promedio una variación de 2.3% (ver **Cuadro 27**) en los ingresos y 0.39% en las salidas respecto a la realidad de la mina (ver **Cuadro 28**).

Cuadro 27: Correlación de ingresos de aire – Zona “Yurika”

Estac.	UBICACIÓN			AREA	VELOCIDAD	CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	Detalle							
EP- 01	SUP.	RB 02	Cabeza de RB 02	4.52	168	26,893	26,933	-0.1%	100%	100%
EP- 02	SUP.	RB 03	FAN 30 KCFM	0.64	1782	40,035	38,990	2.6%	100%	103%
EP- 03	SUP.	RB 04	Cabeza de RB 04, 90% obstrucción	0.19	771	5,135	5,419	-5.5%	100%	95%
EP-04	4306	RP 1950	Sale del Taller y del Nv.4306	19.39	73	50,257	54,213	-7.9%	100%	93%
EVS-21	4430	CX 1720	A 5m antes de ingreso Yurika	21.56	218	165,613	168,865	-2.0%	100%	98%
TOTAL						287,934	294,420	-2.3%		

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 28: Correlación de salidas de aire – Zona “Yurika”

Estac.	UBICACIÓN			AREA	VELOCIDAD	CAUDAL	VENTSIM	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	Detalle							
EP-01	SUP.	RB 05	FAN 150KCFM	2.01	2,439	173,158	173,106	0.03%	100%	100%
EP-02	SUP.	RB 01	FAN 110KCFM	1.77	2,068	129,057	130,299	-0.96%	100%	99%
TOTAL						302,215	303,405	-0.39%	100%	100%

Fuente: Elaboración Propia

c) CORRELACIÓN DE ESTACIONES SECUNDARIAS

i. ESTACIONES SECUNDARIAS – ZONA “PABLO”

a) NV 4280

En él **Cuadro 29** se aprecia la correlación de estaciones secundarias para el NV 4280 con un máximo de variación de 6.6%.

Cuadro 29: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4280

Estac.	UBICACIÓN			VELOCIDAD			CAUDAL		VENTSIM	ΔQ	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	Detalle	m ²	m/s	m/min	m ³ /min	cfm	CAUDAL cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-1	4280	CX 1996	A 10m de RP 1910	23.67	0.27	16	380	13,429	12,739	690	5.1%	100%	105%
EVS-2	4280	RP 1910	15m antes de CH 4308	22.63	0.63	38	850	30,001	28,028	1,973	6.6%	100%	107%

Fuente: Elaboración Propia

b) NV 4296

En él **Cuadro 30** se aprecia la correlación de estaciones secundarias para el NV 4280 con un máximo de variación de 4.6%

Cuadro 30: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4296

Estac.	UBICACIÓN			VELOCIDAD		CAUDAL		VENTSIM	ΔQ	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	Detalle	m/s	m/min	m ³ /min	cfm	CAUDAL cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-1	4296	CX 1950 SE	a 20m de SN 4297 NE	0.23	14	240	8,475	8,102	373	4.4%	100%	105%
EVS-2	4296	SN 4297 NE	CX 4402 SE	0.06	3	61	2,138	2,039	99	4.6%	100%	105%
EVS-3	4296	BP 4296 SW	a 20m de VE 1949 SE	0.34	20	378	13,365	12,930	435	3.3%	100%	103%
EVS-4	4296	VE 1949 SE	a 20 m de RP 1910	0.54	32	669	23,609	22,932	677	2.9%	100%	103%

Fuente: Elaboración Propia

c) NV 4306

En él **Cuadro 31** se aprecia la correlación de estaciones secundarias para el NV 4280 con un máximo de variación de 3.9%

Cuadro 31: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4306

Estac.	UBICACIÓN			Área m2	VELOCIDAD		CAMPO m3/min	VENTSIM cfm	ΔQ cfm	% VARIACIÓN CAMPO VS VENTSIM	CAMPO %	VENTSIM %	
	Nivel	Labor	Detalle		m/s	m/min							
EVS-1	4306	BP 4306	Acceso a Zona Pablo	21.34	1.15	69	1,474	52,045	51,219	826	1.6%	100%	102%
EVS-2	4306	BP 4306	Después de la RP 1930	20.31	0.37	22	454	16,017	16,159	-142	-0.9%	100%	99%
EVS-3	4306	CA 4306	CH 4307 Tolva	20.43	0.16	10	196	6,925	6,686	239	3.4%	100%	104%
EVS-4	4306	BP 4306 SW	entre CH 4306 y CH 4310	19.79	0.86	52	1,020	36,019	34,618	1,401	3.9%	100%	104%
EVS-5	4306	BP 4306 SW	A 5m de CA 1581 NE	22.43	0.40	24	537	18,957	19,631	-674	-3.6%	100%	97%
EVS-6	4306	VE 4311 SW	A 10m de BP 4306 SW	17.69	0.42	25	441	15,577	15,862	-285	-1.8%	100%	98%
EVS-7	4306	RP 1950	Salé del Taller y del Nv 4306	19.39	1.27	76	1,475	52,083	53,527	-1,444	-2.8%	100%	97%

Fuente: Elaboración Propia

d) NV 4322

En él **Cuadro 32** se aprecia la correlación de estaciones secundarias para el NV 4280 con un máximo de variación de 7.8%

Cuadro 32: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4322

Estac.	UBICACIÓN			Área m2	VELOCIDAD		CAUDAL		VENTSIM CAUDAL cfm	ΔQ cfm	% VARIACIÓN CAMPO VS VENTSIM	CAMPO %	VENTSIM %
	Nivel	Labor	Detalle		m/s	m/min	m3/min	cfm					
EVS-1	4322	BP 4322 SW	-----	15.25	1.68	101	1,541	54,409	55,650	-1,241	-2.3%	100%	98%
EVS-2	4322	CA 4323	-----	13.90	1.15	69	962	33,968	32,037	1,931	5.7%	100%	106%
EVS-3	4322	BP 4322	A 5m de CH 4306	16.57	2.53	152	2,516	88,838	90,760	-1,922	-2.2%	100%	98%
EVS-4	4322	CX 4322	-----	18.32	3.16	189	3,468	122,477	114,327	8,150	6.7%	100%	107%
EVS-5	4322	BP 4322 NE	-----	17.13	3.42	205	3,515	124,123	114,476	9,647	7.8%	100%	108%
EVS-6	4322	CA 4324	Pie de CH 4312	13.93	3.54	213	2,963	104,628	106,257	-1,629	-1.6%	100%	98%
EVS-7	4322	CX 4323 NE	Pie RB-01	11.88	8.90	534	6,342	223,969	221,430	2,539	1.1%	100%	101%

Fuente: Elaboración Propia

e) NV 4338

En él **Cuadro 33** se aprecia la correlación de estaciones secundarias para el NV 4280 con un máximo de variación de 5.9%

Cuadro 33: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4338

Estac.	UBICACIÓN			Área m2	VELOCIDAD			CAUDAL		VENTSIM cfm	ΔQ cfm	% VARIACIÓN	
	Nivel	Labor	Detalle		m/s	m/min	m3/min	cfm	CAUDAL cfm			CAMPO VS VENTSIM %	VENTSIM %
EVS-1	4338	VE 4346 SW	a 10 m de cruce con el BP	17.98	0.30	18	324	11,432	11,735	-303	-2.6%	100%	97%
EVS-2	4338	SN 4338 SW	a 1 m de RF	16.55	0.22	13	215	7,596	7,420	176	2.3%	100%	102%
EVS-3	4338	BP 4338 SW	a 7 m de VE 4347 SW	18.73	0.70	42	788	27,826	26,176	1,650	5.9%	100%	106%
EVS-4	4338	BP 4338 SW	a 2 m pasando pulmón	17.24	1.10	66	1,137	40,140	37,911	2,229	5.6%	100%	106%
EVS-5	4338	BP 4338 NE	pasando VE 4342 NE	18.48	0.56	34	626	22,098	23,043	-945	-4.3%	100%	96%

Fuente: Elaboración Propia

f) NV 4354

En él **Cuadro 34** se aprecia la correlación de estaciones secundarias para el NV 4280 con un máximo de variación de 5.3%

Cuadro 34: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4354

Estac.	UBICACIÓN			Área	VELOCIDAD		CAUDAL		VENTSIM	ΔQ	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	Detalle	m2	m/s	m/min	m3/min	cfm	CAUDAL cfm	cfm	CAMPO VS VENTSIM	%	%
EVS-1	4354	BP 4354 NE	a 10m de VE 4356	18.43	0.47	28	520	18,352	19,325	-973	-5.3%	100%	95%
EVS-2	4354	RP 1930	A 5m antes de acceso 4354	26.30	0.74	44	1,169	41,292	43,216	-1,924	-4.7%	100%	96%
EVS-3	4354	BP 4354 SW	a 50m de VE 4355 SW	17.31	0.67	40	695	24,533	24,349	184	0.7%	100%	101%
EVS-4	4354	BP 4354 SW	a 30m de VE 4354 SW	15.15	1.09	66	994	35,104	36,204	-1,100	-3.1%	100%	97%

Fuente: Elaboración Propia

g) NV 4370

En él **Cuadro 35** se aprecia la correlación de estaciones secundarias para el NV 4280 con un máximo de variación de 4.1%

Cuadro 35: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4370

Estac.	UBICACIÓN			Área m2	VELOCIDAD		CAUDAL		VENTSIM CAUDAL cfm	ΔQ cfm	% VARIACIÓN CAMPO VS VENTSIM	CAMPO %	VENTSIM %
	Nivel	Labor	Detalle		m/s	m/min	m3/min	cfm					
EVS-1	4370	SN 4370 SW	A 5m del tope VE 1936 SW	15.77	0.38	23	357	12,611	12,961	-350	-2.80%	100%	97%
EVS-2	4370	VE 1836 SW	A 30m del RC 04	17.59	0.6	36	632	22,316	22,763	-447	-2.00%	100%	98%
EVS-3	4370	SN 4370 SW	a 5m de VE 4372 SW	15.62	0.61	37	576	20,333	21,170	-837	-4.10%	100%	96%
EVS-4	4370	VE 4371 SW	A 5m de BP 4370 SW	18.14	0.53	32	578	20,411	21,222	-811	-4.00%	100%	96%
EVS-5	4370	BP 4370 NE	-----	20.38	0.18	11	221	7,822	7,936	-114	-1.50%	100%	99%
EVS-6	4370	BP 4370 NE	MEDIO	19.8	0.58	35	689	24,339	24,633	-294	-1.20%	100%	99%
EVS-7	4370	AC 4370	A 10 m de rampa	29.45	1.26	75	2,222	78,486	77,547	939	1.20%	100%	101%
EVS-8	4370	RP	A 10 m de Sub Estación E. RA-48	22.84	0.43	26	589	20,814	20,474	340	1.60%	100%	102%
EVS-9	4370	AC 4370	A 20m del RC 02	19.24	1.21	72	1,393	49,186	48,585	601	1.20%	100%	101%

Fuente: Elaboración propia

h) NV 4386

En él **Cuadro 36** se aprecia la correlación de estaciones secundarias para el NV 4280 con un máximo de variación de 4.6%

Cuadro 36: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4386

Estac.	UBICACIÓN			Área m2	VELOCIDAD		CAUDAL		VENTSI M	ΔQ cfm	% VARIACIÓN CAMPO VS	CAMP O %	VENTSI M %
	Nivel	Labor	Detalle		m/s	m/min	m3/m in	cfm					
EVS-1	4386	BP 4386 NE	A 15m de acceso	23.25	0.27	16	372	13,137	12,539	598	4.6%	100%	105%
EVS-2	4386	SN 4387 SW	A 5m de BP	19.19	0.40	24	464	16,396	15,763	633	3.9%	100%	104%
EVS-3	4386	BP 4386	A 15m del tablero eléctrico	17.82	0.37	22	400	14,135	13,849	286	2.0%	100%	102%
EVS-4	4386	VE 4387 SW	A 8m de BP 4386 SW	18.37	0.31	18	338	11,935	11,761	174	1.5%	100%	101%
EVS-5	4386	BP 4386 SW	A 10m VE 4387 SW	17.86	0.79	48	850	30,025	29,243	782	2.6%	100%	103%
EVS-6	4386	BP 4386 SW	Entre las chimeneas	17.63	0.67	40	713	25,188	24,690	498	2.0%	100%	102%
EVS-7	4386	BP 4386 SW	A 3m de acceso	17.60	0.63	38	660	23,324	23,093	231	1.0%	100%	101%
EVS-8	4386	RP 1930 +	A 20m de fin de curva	23.17	1.45	87	2,014	71,130	72,042	-912	-1.3%	100%	99%

Fuente: Elaboración Propia

i) NV 4402

En él **Cuadro 37** se aprecia la correlación de estaciones secundarias para el NV 4280 con un máximo de variación de 3.8%

Cuadro 37: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4402

Estac.	UBICACIÓN			Area m2	VELOCIDAD		CAUDAL		VENTSIM	ΔQ cfm	% VARIACIÓN CAMPO VS	CAMP O %	VENTSI M %
	Nivel	Labor	Detalle		m/s	m/min	m3/min	cfm					
EVS-1	4402	BP 4402 NE	entre CA 4446 y RF	17.32	0.14	8	142	5,015	4,908	107	2.1%	100%	102%
EVS-2	4402	GL 4402 SW	a 20 m de la VE de 4404 SW	13.74	0.22	13	181	6,405	6,305	100	1.6%	100%	102%
EVS-3	4402	BP 4402 SW	5 m antes de la CA 2002 SW	17.07	0.54	33	557	19,657	18,984	673	3.4%	100%	104%
EVS-4	4402	RP 1930	a 15 m del NV 4402	22.26	1.47	88	1,965	69,383	71,986	-2,603	-3.8%	100%	96%
EVS-5	4402	CX 4402 SE	a 20m de VE 4403 SE	13.33	4.25	255	3,395	119,900	123,615	-3,715	-3.1%	100%	97%

Fuente: Elaboración Propia

ii. ESTACIONES SECUNDARIAS - ZONA "YURIKA"

a) NV 4430

En el **Cuadro 38** se aprecia la correlación de estaciones secundarias para el NV 4280 con un máximo de variación de 4.1%

Cuadro 38: Correlación de Variación "Campo vs Ventsim" – NV 4430

Estac.	UBICACIÓN			Área m ²	VELOCIDAD		CAUDAL		VENTSIM cfm	ΔQ cfm	% VARIACIÓN CAMPO VS VENTSIM	CAMPO %	VENTSIM %
	Nivel	Labor	Detalle		m/s	m/min	m ³ /min	cfm					
EVS-1	4430	GL 1960 SW	a 3 m de VE	14.63	0.20	12	174	6,149	6,225	-76	-1.2%	100%	99%
EVS-2	4430	CA 01	a 3 m de BP 1948	13.28	0.15	9	116	4,096	4,068	28	0.7%	100%	101%
EVS-3	4430	BP 1948	a 4 m de AC TJ 1948 tramo 3	29.27	0.19	11	328	11,575	11,104	471	4.1%	100%	104%
EVS-4	4430	BP 1948	a 4 m de TJ 1829 tramo 2	25.61	0.47	28	729	25,743	24,769	974	3.8%	100%	104%
EVS-5	4430	BP 1948	a 3 m de BA 1929 TJ 1929 2	22.04	0.79	48	1,051	37,106	37,336	-230	-0.6%	100%	99%
EVS-6	4430	BP 1948	a 3 m de AC TJ 1948 tramo 2	24.39	0.75	45	1,093	38,585	37,358	1,227	3.2%	100%	103%
EVS-7	4430	BP 1948	a 3 m de AC TJ 1829 3 Yaneli	20.28	1.01	61	1,232	43,496	42,459	1,037	2.4%	100%	102%
EVS-8	4430	BP 1948	a 7 m de BP 1960 NE Yurika	23.44	0.55	33	770	27,207	26,760	447	1.6%	100%	102%
EVS-9	4430	AC principal	a 20 m de comedor	25.33	0.81	49	1,231	43,467	43,920	-453	-1.0%	100%	99%
EVS-10	4430	RB-01	Hermetizado al 80%	10.71	1.90	114	1,220	43,097	42,880	217	0.5%	100%	101%
EVS-11	4430	CX principal	a 5 m de RP 1950	20.84	1.18	71	1,477	52,145	52,463	-318	-0.6%	100%	99%
EVS-12	4380	CX 1720 NW	A 5m de ingreso Yurika	21.56	3.64	218	4,704	166,121	168,865	-2,744	-1.7%	100%	98%

Fuente: Elaboración Propia

b) NV 4380

En el **Cuadro 39** se aprecia la correlación de estaciones secundarias para el NV 4280 con un máximo de variación de 6.0%

Cuadro 39: Correlación de Variación “Campo vs Ventsim” – NV 4380

Estac.	UBICACIÓN			Área	VELOCIDAD			CAUDAL		VENTSIM	ΔQ	% VARIACIÓN	CAMPO	VENTSIM
	Nivel	Labor	Detalle		m2	m/s	m/min	m3/min	cfm					
EVS-1	4380	CX 1720		21.39	1.50	90	1,926	68,023	64,855	3,168		4.7%	100%	105%
EVS-2	4380	BP 1950 SW		18.55	2.08	125	2,311	81,624	76,696	4,928		6.0%	100%	106%
EVS-3	4380	RP 1720	A 10m de BP 1950 SW	21.43	1.03	62	1,326	46,811	48,759	-1,948		-4.2%	100%	96%
EVS-4	4380	BP 1950 SW	A 8m de tolva OP 1948	17.52	3.26	195	3,421	120,825	125,149	-4,324		-3.6%	100%	97%
EVS-5	4380	CH 1923	A 1m de BP 1950 SW	8.97	2.54	152	1,367	48,289	48,740	-451		-0.9%	100%	99%
EVS-6	4380	AC 1948	A 10m de 1950 SW	15.65	0.51	30	476	16,801	16,946	-145		-0.9%	100%	99%
EVS-7	4380	BP 1950 SW		17.83	2.46	148	2,635	93,057	94,498	-1,441		-1.5%	100%	98%
EVS-8	4380	CA de Carguio		18.35	0.70	42	766	27,043	25,783	1,260		4.7%	100%	105%
EVS-9	4380	GL 1950 SW		14.15	0.98	59	834	29,439	30,679	-1,240		-4.2%	100%	96%
EVS-10	4380	GL 1950 SW		11.48	1.12	67	771	27,223	28,752	-1,529		-5.6%	100%	95%

Fuente: Elaboración Propia

d) POTENCIA ELÉCTRICA INSTALADA

De las mediciones de voltaje y amperaje realizado en el campo determinaron que la potencia efectiva total es de 2,187 HP. En el resumen del modelo Ventsim Design se observa una potencia simulada de 2356,8 HP (ver **Cuadro 40**).

El porcentaje de calibración del modelo en cuanto a potencia eléctrica instalada es de 92.21%

$$\% \text{ Var. Pot. Instalada} = \frac{\text{Pot Campo} - \text{Pot Ventsim}}{\text{Pot. Campo}}$$

$$\% \text{ Var. Pot. Instalada} = \frac{2187\text{HP} - 2356.8 \text{HP}}{2180\text{HP}}$$

$$\% \text{ Var. Pot. Instalada} = -7.79\%$$

Cuadro 40: Resumen de potencia instalada, modelo actual.

RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,234.8 hp Total
	257.8 hp Chimenea
	296.1 hp Conducir
	680.9 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	2,356.8 hp
Costo de energía anual de la red	\$ 1,231,657
Eficiencia de la red	52.4 %
Que consta de ..	
25 Ventiladores	2,233.9 hp
0 Presiones fijadas	0.0 hp
3 Flujos fijados	122.9 hp
0 Refrigeración	0.0 hp

Fuente: Simulación en Ventsim

e) COSTO DE ENERGÍA

En la U.O. Pallancata el costo unitario de energía es de US\$ 0.08 kW-h. De acuerdo con las mediciones realizadas de voltaje y amperaje se determina el costo de energía de los ventiladores de todo el sistema de Ventilación en \$1,141,077. El costo de energía de acuerdo a las simulaciones en Ventsim es de \$1,231,657 **Cuadro 41**.

$$\% \text{ Var. Costo Energía} = \frac{\text{Cost. Campo} - \text{Cost. Ventsim}}{\text{Cost. Campo}}$$

$$\% \text{ Var. Costo Energía} = \frac{\text{US\$ 1,141,077} - \text{US\$ 1,231,657}}{\text{US\$ 1,141,077}}$$

$$\% \text{ Var. Costo Energía} = -7.94 \%$$

Cuadro 41: Resumen de costo de energía US\$.

RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,234.8 hp Total
	257.8 hp Chimenea
	296.1 hp Conducir
	680.9 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	2,356.8 hp
Costo de energía anual de la red	\$ 1,231,657
Eficiencia de la red	52.4 %
Que consta de ..	
25 Ventiladores	2,233.9 hp
0 Presiones fijadas	0.0 hp
3 Flujos fijados	122.9 hp
0 Refrigeración	0.0 hp

Fuente: Simulación en Ventsim

3.8 SISTEMA DE VENTILACION PROYECTADO A MEDIANO PLAZO

Para el sistema de ventilación proyectado se calculará los requerimientos solo de la zona Pablo debido que la zona Yurika está a punto de acabar su explotación.

3.8.1 Cálculo de cobertura

3.8.1.1 Requerimiento de Caudal de Aire para Labores de Desarrollo.

Se realizó un análisis de la norma “DS – 023-2017-EM”, correspondiente a ventilación en minas subterráneas.

Basándonos en estas normas se realizaron los cálculos de caudal de aire necesario para ventilar adecuadamente las labores de desarrollo, según los

equipos Diésel usados, el personal que labora dentro de la mina y la evacuación de los gases tóxicos producto de las voladuras y adicionales como uso de madera y fugas.

a) Requerimientos de aire para Personal (Q_{Tr})

Según el DS – 023-2017-EM. En los lugares de trabajo de las minas ubicadas hasta 1,500 msnm, la cantidad mínima de aire necesario por hombre será de 3 m³/min. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo a la siguiente escala:

De 1,500 a 3,000 msnm se incrementará en 40% que será igual a 4 m³/min

De 3,000 a 4,000 msnm se incrementará en 70% que será igual a 5 m³/min

Sobre los 4,000 msnm se incrementará en 100% que será igual a 6m³/min

Para obtener el caudal total para el personal mediante la metodología indicada por el DM-023-2017-EM se multiplica el requerimiento por persona de 6m³/min debido a que la unidad minera Pallancata se encuentra a 4300 msnm por el número de personas dentro de las labores mineras obteniéndose un caudal de 1230 m³/min (ver **Cuadro 42**).

$$Q_{Tr} = \text{Número de personas} \times \text{Factor}$$

$$Q_{Tr} = 205 \times 6$$

$$Q_{Tr} = 1230 \text{ m}^3/\text{min}$$

Cuadro 42: Personal que ingresa a mina

Número de personas	Factor (6m ³ /min a más de 4000 msnm)	m ³ /min
205	6	1230

Fuente: Elaboración propia

b) Requerimiento de aire para Equipos a petróleo (Q_{Eq})

Según el anexo 38 del reglamento del DM-023-2017-EM. El caudal requerido para equipos a petróleo está dado por la siguiente formula:

$$Q_{Eq} = 3 \times HP \times D_m \times F_u \text{ (m}^3\text{/min).}(1)$$

Donde:

Q_{Eq} = Volumen de aire necesario para la ventilación (m³/min);

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs);

D_m = Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%);

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

Para aplicar la formula detallo que la disponibilidad mecánica es 60% y el factor de utilización promedio es también 60% que es información dada por el área de productividad.

En el **Cuadro 43** se detalla el proceso de determinación del requerimiento de aire para equipos a petróleo (Q_{Eq}) en pies cúbicos por minuto, cfm aplicando la formula, se multiplicó 3 por la cantidad de equipos por la Capacidad efectiva de potencia (HP) por la disponibilidad mecánica promedio de los equipos (D_m) por el factor de utilización promedio de los equipos obteniendo la columna de volumen de aire necesario para la ventilación Q_{Eq} .

$$Q_{eq} = \text{Potencia total} \times \text{Factor} \times D_m \times F_u$$

$$Q_{eq} = 9110.91 \times 3 \times 0.6 \times 0.6$$

$$Q_{eq} = 9339.78 \text{ m}^3\text{/min}$$

Cuadro 43: Requerimiento de caudal para equipos a petróleo

Número de equipos	Potencia total HP	Factor	Disponibilidad Mecánica D_m (%)	Factor de utilización F_u (%)	Caudal requerido m ³ /min
40	9110.91	3	0.6	0.6	9839.78

Fuente: Elaboración propia

c) Requerimiento de caudal por consumo de madera (Q_{Ma})

No se requiere caudal para gases producidos por la madera debido a que no se utiliza madera en el sostenimiento de las labores debido a que la calidad de roca es buena.

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

Se requerirá caudal de aire por temperatura para el NV 4280 donde se registra temperaturas mayores a a 23°C. Se siguió la secuencia dada por el anexo 38 del DM-023-2017-EM, el cual indica:

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

Donde:

Q_{Te} = Caudal por temperatura (m³/min);

V_m = Velocidad mínima;

A = Área de la labor promedio;

N = Número de niveles con temperatura mayor a 23°C

Debido a que el NV 4280 tiene temperaturas mayores a 23°C, se calculó la exigencia de caudal de aire por temperatura. Para obtener la exigencia de caudal por temperatura se multiplica el área de la sección de las labores ('area) "A" por la velocidad requerida " V_m " por el número de niveles a ventilar (ver **Cuadro 44**). Los cálculos realizados se detallan a continuación.

$$Q_{Te} = A \times V_m \times \text{Numero de niveles a ventilar}$$

$$Q_{Te} = 23.17 \times 30 \times 1$$

$$Q_{Te} = 695.1 \text{ m}^3\text{/min}$$

Cuadro 44. Cálculo de requerimiento de caudal por temperatura

Sección promedio de labores, A m ²	Velocidad requerida V_m m/min	Numero de niveles a ventilar	Requerimiento de caudal por temperatura Q_{Te} m ³ /min
23.17	30	1	695.1

Fuente: Elaboración propia

e) Caudal requerido por fugas (Q_{Fu})

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{T1} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}$$

Para determinar el caudal exigido por fugas (Q_{Fu}) es necesario primero calcular el caudal total Q_{T1} que es igual al caudal de aire requerido para personal Q_{Tr} más el caudal de aire requerido por temperatura Q_{Te} más el caudal requerido por madera Q_{Ma} , más el caudal requerido por equipos Q_{Eq} . Por lo cual se obtiene de la suma de $Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}$ un resultado de 11765 m³/min. Por consiguiente el caudal exigido por fugas es igual a 15% \times (11765) que es igual a 1765 m³/min (ver **Cuadro 45**). A continuación, se detallan los cálculos realizados en la siguiente ecuación.

$$Q_{T1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}$$

$$Q_{T1} = 1230 + 695.1 + 0 + 9839.78$$

$$Q_{T1} = 11765 \text{ m}^3\text{/min}$$

$$Q_{Fu} = 0.15 \times Q_{T1}$$

$$Q_{Fu} = 1765$$

Cuadro 45: Requerimiento para gases de voladura

Q_{Tr} m ³ /min	Caudal requerido por personal	1230
Q_{Te} m ³ /min	Caudal requerido por Temperatura	695.1
Q_{Ma} m ³ /min	Caudal requerido por Madera	0
Q_{Eq} m ³ /min	Caudal requerido por Equipos	9839.78
Q_{T1} m ³ /min	Caudal requerido Total	11,765
Q_{Fu} m ³ /min	Caudal requerido por fugas	1,765

Fuente: Elaboración propia

f) Requerimiento

Para obtener el caudal de aire exigido global de ventilación se sumó el caudal requerido por personal más el caudal requerido por consumo de madera más el caudal requerido por temperatura en labores más el requerimiento por equipos diésel más el caudal requerido por fugas obteniéndose un caudal total de 13530 m³/min equivalente a 477.789 cfm (ver **Cuadro 46**).

Cuadro 46. Resumen de requerimiento de aire Zona "Pablo"

Distribución Requerimientos	m ³ /min	cfm
QTr: Personas (205 trabajadores)	1230	43,437
QMa: Consumo de Madera (<20%)	-	
QTe: Temperatura en Labores (>24 °C, NV 4280)	695	24,544
QEq: Equipos Diesel (40 equipos; 9110.91 HP)	9,839.78	347,488
Caudal Requerido QT1 = QTr+Qma+Qte+Qeq	11,765	415,469
QFu: Caudal Requerido por Fugas (15%*Qto)	1,765	62,320
Caudal Requerido Qto=QT1+Qfu	13,530	477,789

Fuente: Elaboración propia

3.9 DISEÑO DE ESCENARIOS A MEDIANO PLAZO

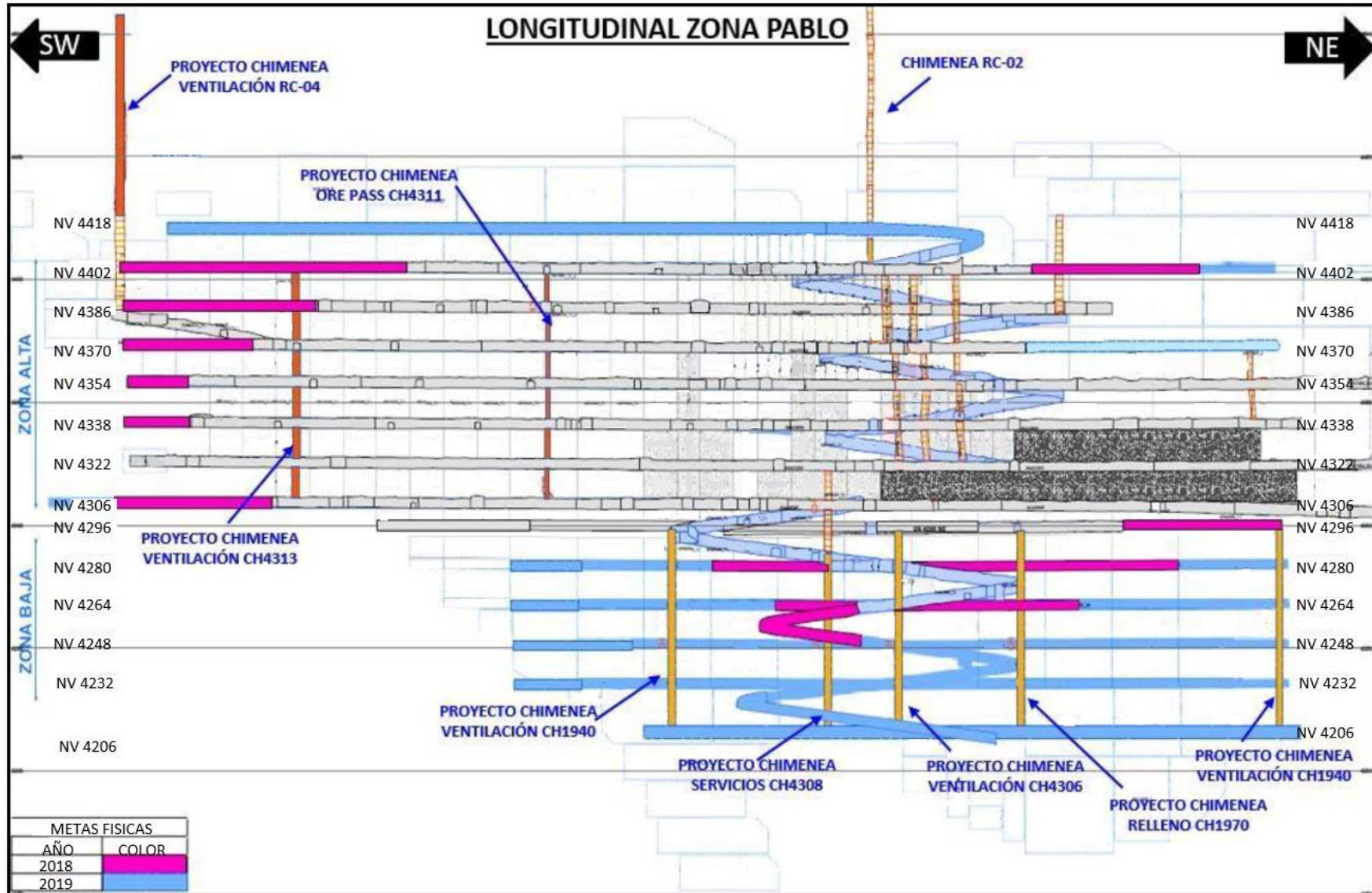
De acuerdo al LOM entregado por la U.O. Pallancata, la vida útil de la mina se extiende por 03 años (hasta el 2021), principalmente se basa en la explotación de la zona "Pablo", además es la que tiene mayor problema en cuanto a la cobertura de ventilación (actualmente 56%); es necesario entonces definir nuevos ejes de ventilación para lograr cubrir el 100% del requerimiento.

El área de planeamiento facilitó el modelo de la mina proyectado hasta el año 2019, que a continuación se explican.

a) MODELO PROYECTADO DE LA ZONA "PABLO" AL 2019

De acuerdo con el LOM de la Unidad Operativa Pallancata, al 2019, la zona "Pablo" deberá tener 14 niveles. El requerimiento de aire estará próximo a los 500 kcfm (el requerimiento exacto será de 476,789 cfm) (ver **Figura 15**).

Figura 15: Vista Longitudinal proyectado al 2019 de acuerdo al LOM (Fuente: U.O. PALLANCATA)

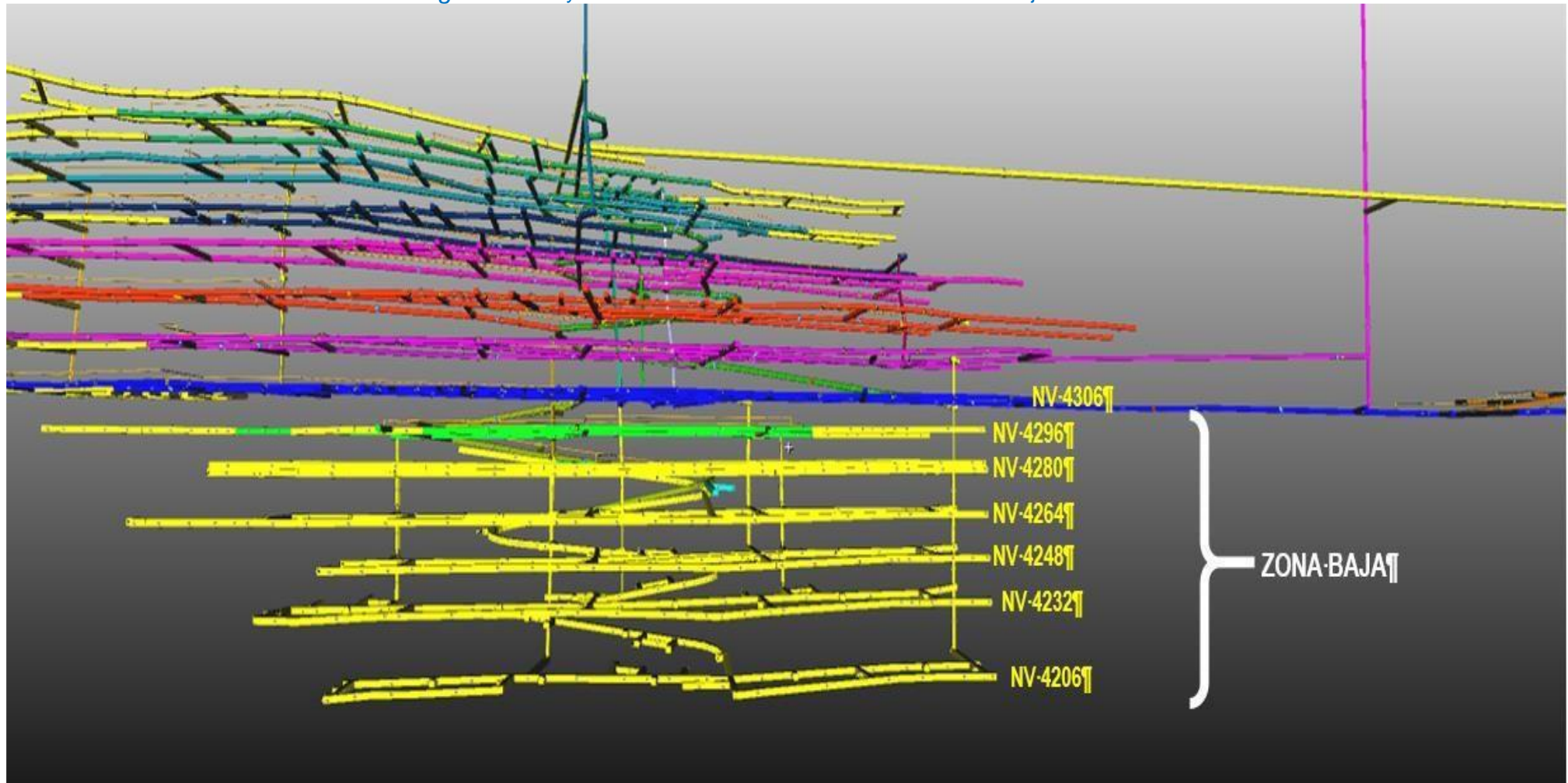


Fuente: Área de Planeamiento U.O. Pallancata

b) “PABLO” ZONA BAJA

Para el 2019, la zona “Pablo” tiene proyectado profundizar 5 niveles, hasta llegar al Nivel 4206 (ver **Figura 16**).

Figura 16: Proyecto de Profundización al 2019 – “Pablo” Zona baja

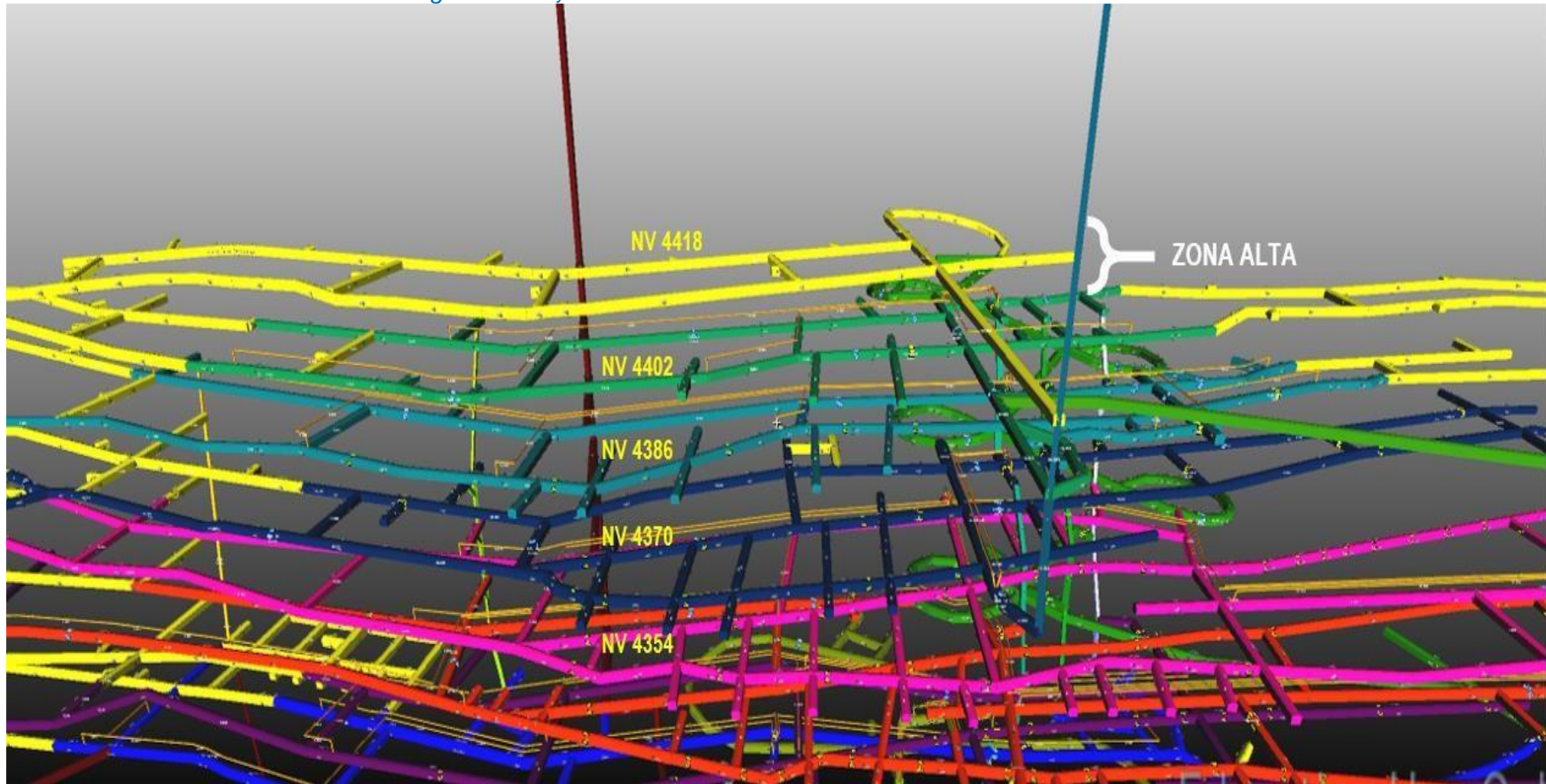


Fuente: Simulación en Ventsim

c) PABLO ZONA ALTA

El nivel superior que se tiene proyectado llegar en la zona “Pablo” es el Nivel 4418 (ver **Figura 17**).

Figura 17: Proyecto de Profundización al 2019 – “Pablo” Zona alta.

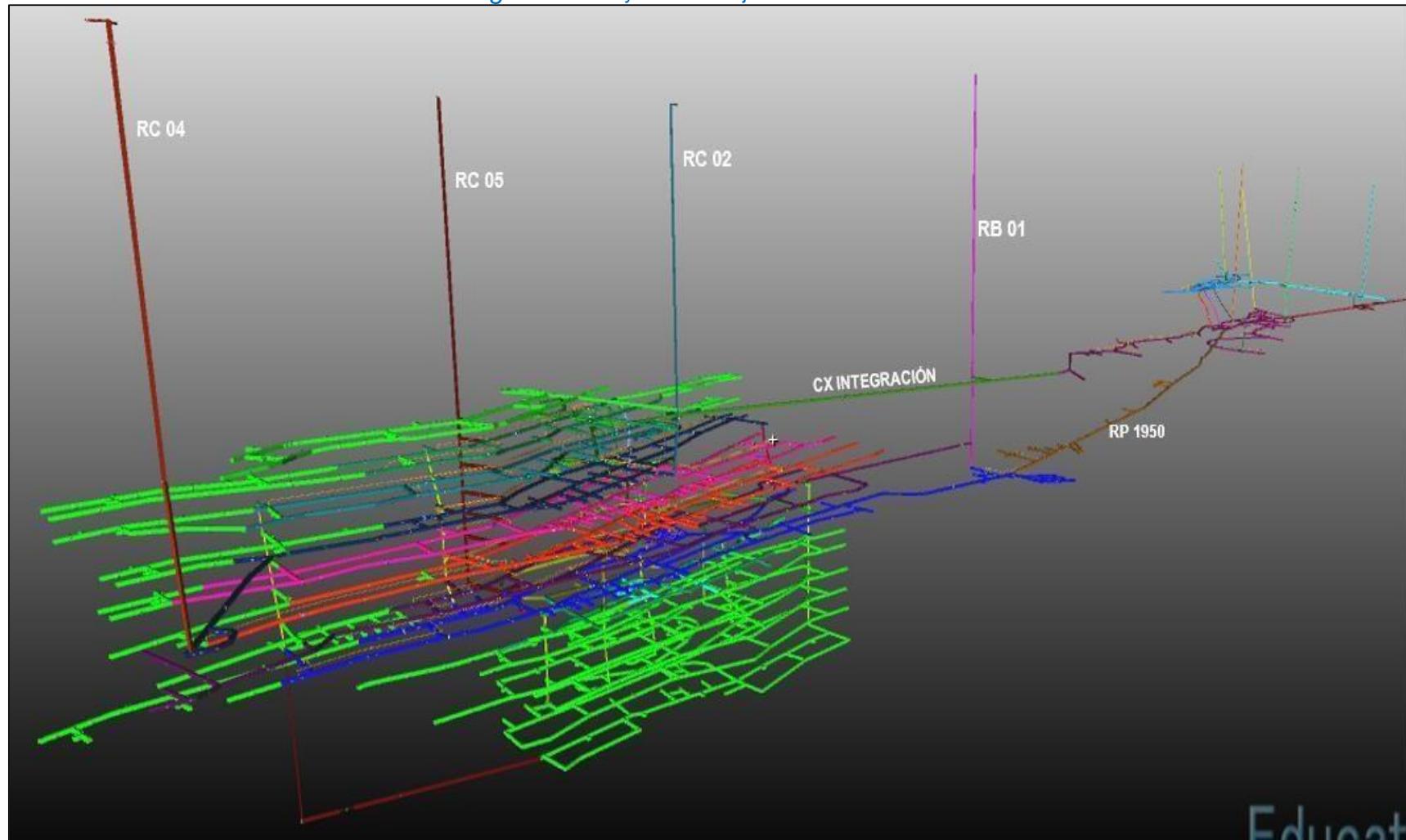


Fuente: Simulación en Ventsim

3.10 DISEÑO DE NUEVOS EJES

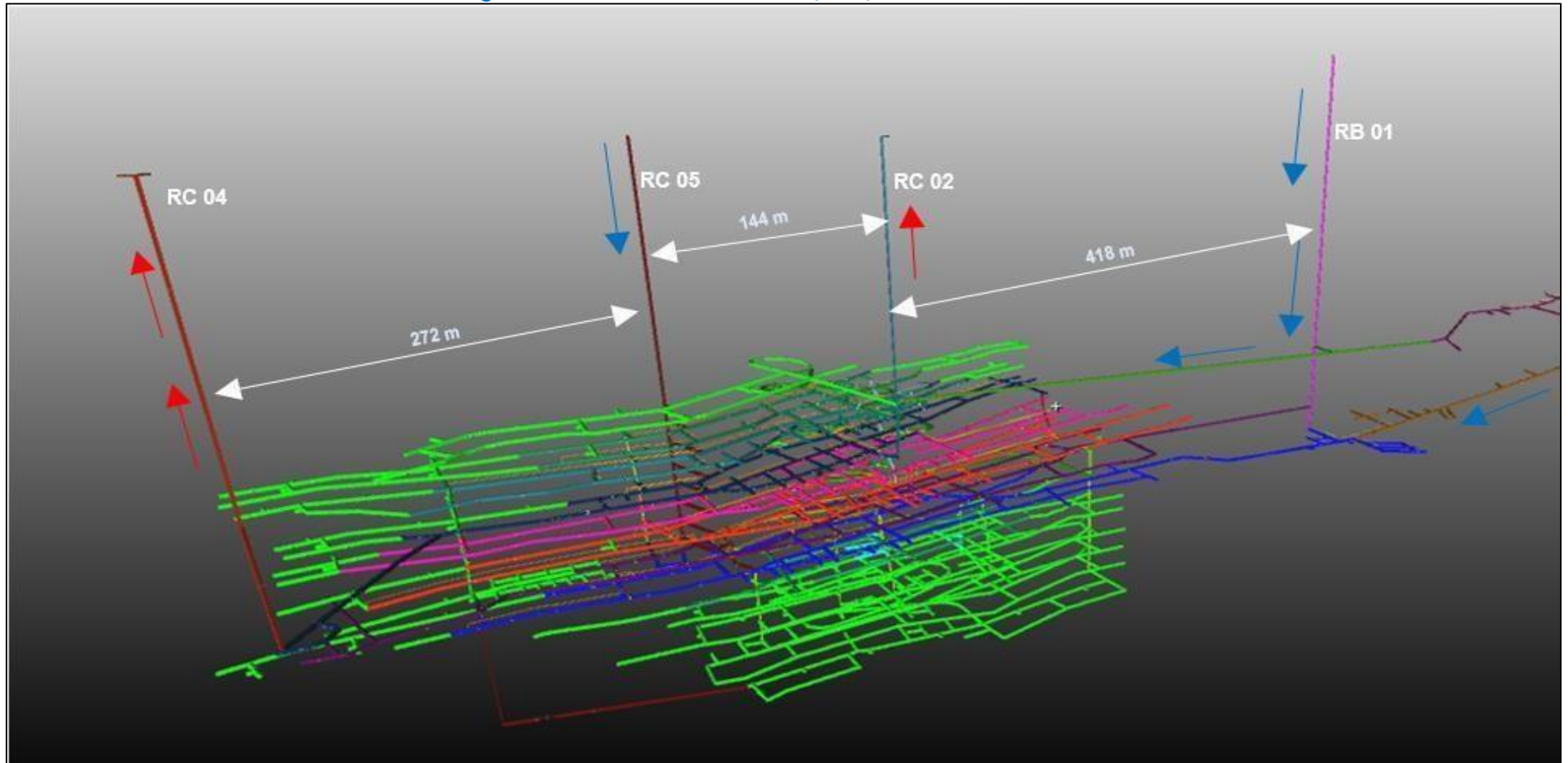
Se plantea la construcción del RC 05 en la zona “Pablo”, entre en RC 04 y el RC 02, para el ingreso de aire fresco desde la superficie. Será una labor de 3.0 x 3.0 m, con una longitud de 300 m, que unirá desde el NV 4318 hasta el NV 4306 (ver **Figura 18**). Las distancias entre los nuevos ejes de ventilación se muestran en la (**Figura 19**).

Figura 18: Proyecto de mejora a Mediano Plazo.



Fuente: Simulación en Ventsim

Figura 19: Distancias entre labores principales de ventilación



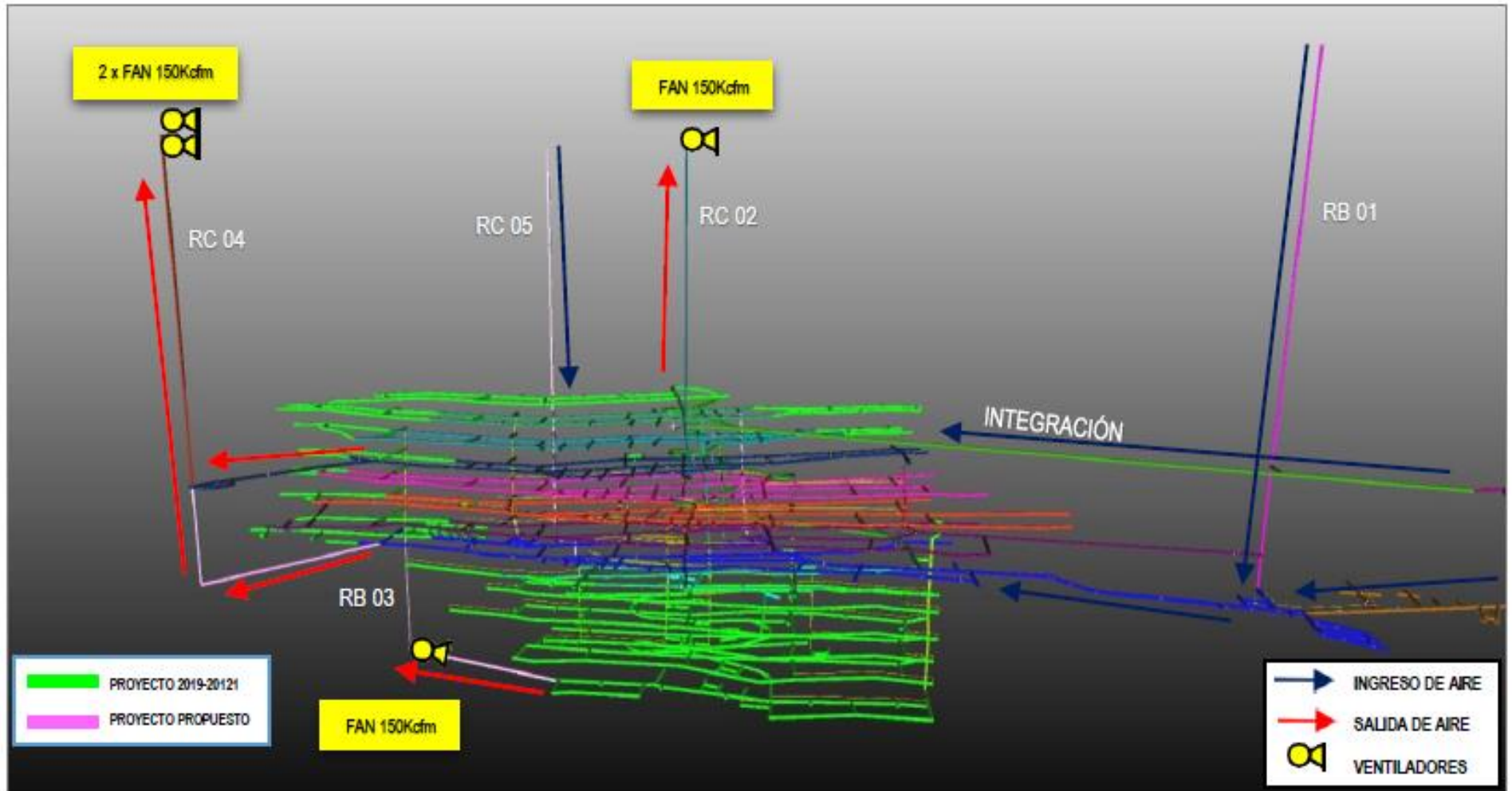
Fuente: Simulación en Ventsim

3.10.1 ALTERNATIVA 01

De acuerdo a la alternativa se plantea la construcción del RC 05 (eje de ingreso de aire conectado a superficie hacia el Nv 4306) con una sección de 3.0x3.0 mts y una longitud de 297.7 mts; así también se plantea que se prolongue el RB 03 con un diámetro de 1.8 mts, a fin de que sirva de apoyo para el circuito de salida de aire en el RC 04 (propuesta de prolongación en el Nv 4370 hasta Nv 4306).

Así también se plantea la instalación de un nuevo ventilador de 150,000 cfm en el pie del RB 03 y que de empuje para la salida de aire en el RC 04, donde también se encontrarán dos (02) ventiladores de 150,000 cfm instalados en paralelo (ver **Figura 20** y Anexo 2, Plano - Alternativa 1).

Figura 20: Diseño de la Alternativa 01



Fuente: Simulación en Ventsim

a) RESUMEN DE LA RED

En el resumen de la red global se obtiene un caudal de ingreso y/o admisión de 724,504 cfm y caudal de salida y/o escape de 746,848 cfm (ver Cuadro 47).

Así también se consideró que para zona Pablo el caudal de admisión 432,158 cfm y caudal de escape 436,528 cfm, siendo el requerimiento de aire 476,789 cfm. Obteniendo una cobertura de 91% para Zona Pablo.

Cuadro 47: Resumen del sistema – , Alternativa 01

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapa	7: ESC. N°03 - DISEÑO NUEVOS EJES (Alt 01)
Todos los conductos de aire	3197
Actual etapa conductos	2415 y 55 Exclusión
Longitud total	39,998.9 m
Caudal de aire total de admisión	724,504 cfm
Caudal de aire total de escape	746,848 cfm
Flujo de masa total	245.92 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.01703 PU
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.02571 PU

Fuente: Simulación en Ventsim

b) CONSUMO DE ENERGÍA

En el resumen de la potencia global se obtiene una potencia instalada eléctrica 2,856.6 HP y un costo de energía anual de US\$ 1,492,850 (ver Cuadro 48).

Así también se consideró que para la zona Pablo una potencia instalada eléctrica 2,490 HP y un costo de energía anual de US\$ 1,301,298.

Cuadro 48: Resumen de Potencia – Alternativa 01.

RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,617.8 hp Total
	544.9 hp Chimenea
	534.4 hp Conducir
	538.5 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	2,856.6 hp
Costo de energía anual de la red	\$ 1,492,850
Eficiencia de la red	56.6 %

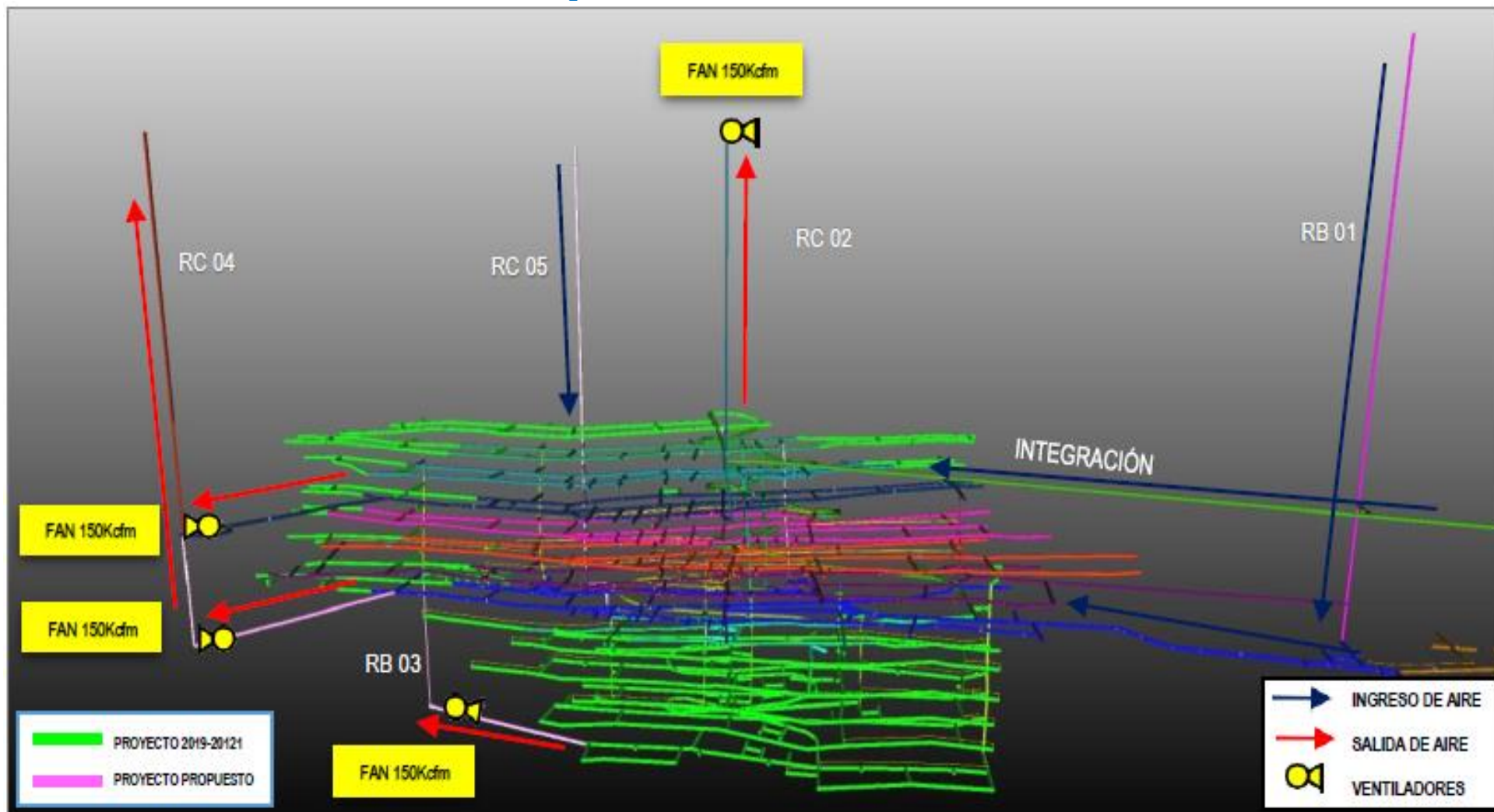
Fuente: Simulación en Ventsim

3.10.2 ALTERNATIVA 02

De acuerdo a la alternativa se plantea la construcción del RC 05 (eje de ingreso de aire conectado a superficie hacia el Nv 4306) con una sección de 3.0x3.0 mts y una longitud de 297.7 mts; así también se plantea que se prolongue el RB 03 con un diámetro de 1.8 mts y una longitud de 103.6 mts, a fin de que sirva de apoyo para el circuito de salida de aire en el RC 04 (propuesta de prolongación en el Nv 4370 hasta Nv 4306) con una sección de 2.8x2.8 mts y una longitud de 63.4 mts.

Así también se plantea la instalación de un nuevo ventilador de 150,000 cfm en el pie del RB 03 y que de empuje para la salida de aire en el RC 04, donde estarán instalados dos (02) ventiladores de 150,000 cfm (01 ventilador ubicado en el pie del RC 04 del Nv 4370, y otro ventilador ubicado en el pie del RC 04 prolongado en el Nv 4306) (ver **Figura 21** y Anexo 3, Plano - Alternativa 2).

Figura 21: Diseño de la Alternativa 02,



Fuente: Simulación en Ventsim

a) RESUMEN DE LA RED

En el resumen de la red global se obtiene un caudal de ingreso y/o admisión de 774,109 cfm y caudal de salida y/o escape de 781,482 cfm (ver Cuadro 49).

Así también se consideró que para la zona Pablo el caudal de admisión 483,061 cfm y caudal de escape 480,633 cfm, siendo el requerimiento de aire 476,789 cfm. Obteniendo una cobertura de 101% para Zona Pablo.

Cuadro 49: Resumen de Potencia – , Alternativa 02.

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapa	8: ESC. N°03 - DISEÑO NUEVOS EJES (Alt 02)
Todos los conductos de aire	3197
Actual etapa conductos	2415 y 55 Exclusión
Longitud total	39.985.5 m
Caudal de aire total de admisión	774,109 cfm
Caudal de aire total de escape	781,482 cfm
Flujo de masa total	262.75 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.01374 PU
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.02102 PU

Fuente: Simulación en Ventsim

b) CONSUMO DE ENERGÍA

En el resumen de la potencia global se obtiene una potencia instalada eléctrica de 2,757.1 HP y un costo de energía anual de US\$ 1,440,864 (ver cuadro 50). Así también se consideró que para zona Pablo tiene una potencia instalada eléctrica 2,511 HP y un costo de energía anual de US\$ 1,312,181.

Cuadro 50. Resumen de potencia – Alternativa 02.

RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,559.4 hp Total
	650.8 hp Chimenea
	368.7 hp Conducir
	539.8 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	2,757.1 hp
Costo de energía anual de la red	\$ 1,440,864
Eficiencia de la red	56.6 %

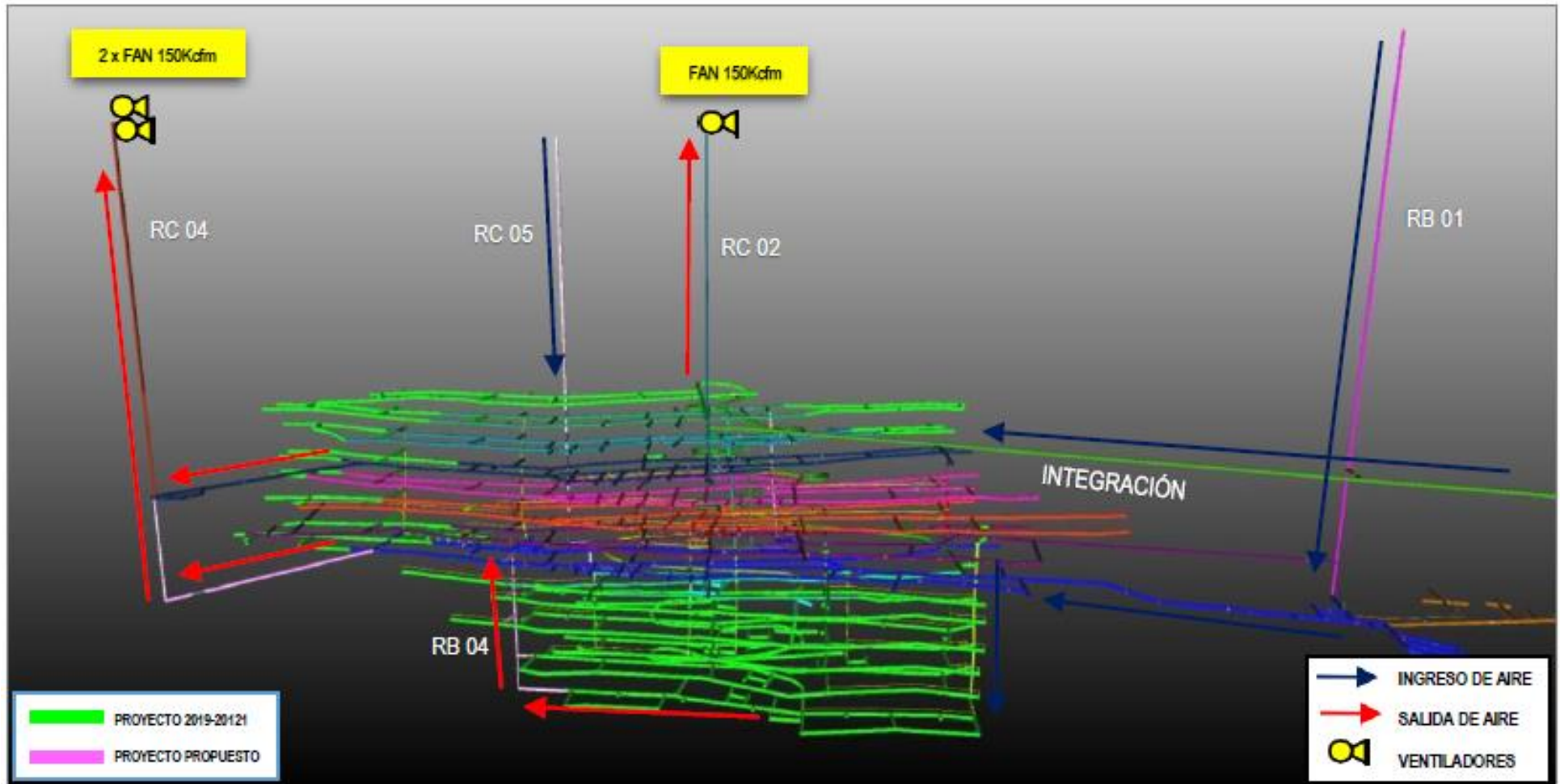
Fuente: Simulación en Ventsim

3.10.3 ALTERNATIVA 03

De acuerdo a la alternativa se plantea la construcción del RC 05 (eje de ingreso de aire conectado a superficie hacia el Nv 4306) con una sección de 3.0x3.0 mts y una longitud de 297.7 mts; así también se plantea que se construya un RB 04 con un diámetro de 2.4 mts y una longitud de 104.1 mts, a fin de que sirva de apoyo para el circuito de salida de aire en el RC 04 (propuesta de prolongación en el Nv 4370 hasta Nv 4306) con una sección 2.8x2.8 mts y una longitud de 63.4 mts.

Así también se mantiene la ubicación de los ventiladores de 150,000 cfm en paralelo en la cabeza del RC 04 (ver Figura 22 y Anexo 4, Plano - Alternativa 3).

Figura 22: Diseño de la Alternativa 03,



Fuente: Simulación en Ventsim

a) RESUMEN DE LA RED

En el resumen de la red global se obtiene un caudal de ingreso y/o admisión de 725,381 cfm y caudal de salida y/o escape de 747,592 cfm (ver **Cuadro 51**).

Así también se consideró que para la zona Pablo el caudal de admisión es 433,126 cfm y caudal de salida y/o escape es 437,298 cfm, siendo el requerimiento de aire 476,789 cfm. Obteniendo una cobertura de 91% para Zona Pablo.

Cuadro 51: Resumen de potencia – Alternativa 03.

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapas	9: ESC. N°03 - DISEÑO NUEVOS EJES (Alt 03)
Todos los conductos de aire	3197
Actual etapas conductos	2423 y 55 Exclusión
Longitud total	39,978.4 m
Caudal de aire total de admisión	725,381 cfm
Caudal de aire total de escape	747,592 cfm
Flujo de masa total	246.17 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.01531 PU
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.02386 PU

Fuente: Simulación en Ventsim

b) CONSUMO DE ENERGÍA

En el resumen de la potencia global se obtiene una potencia instalada eléctrica 2,757.1 HP y un costo de energía anual de US\$ 1,440,864. Así también se consideró que para la zona Pablo una potencia instalada eléctrica es de 2,184 HP y un costo de energía anual de US\$ 1,141,570 (**ver Cuadro 52**).

Cuadro 52: Resumen de potencia – , Alternativa 03.

RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,502.0 hp Total
	413.7 hp Chimenea
	549.7 hp Conducir
	538.5 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	2,752.7 hp
Costo de energía anual de la red	\$ 1,438,572
Eficiencia de la red	54.6 %

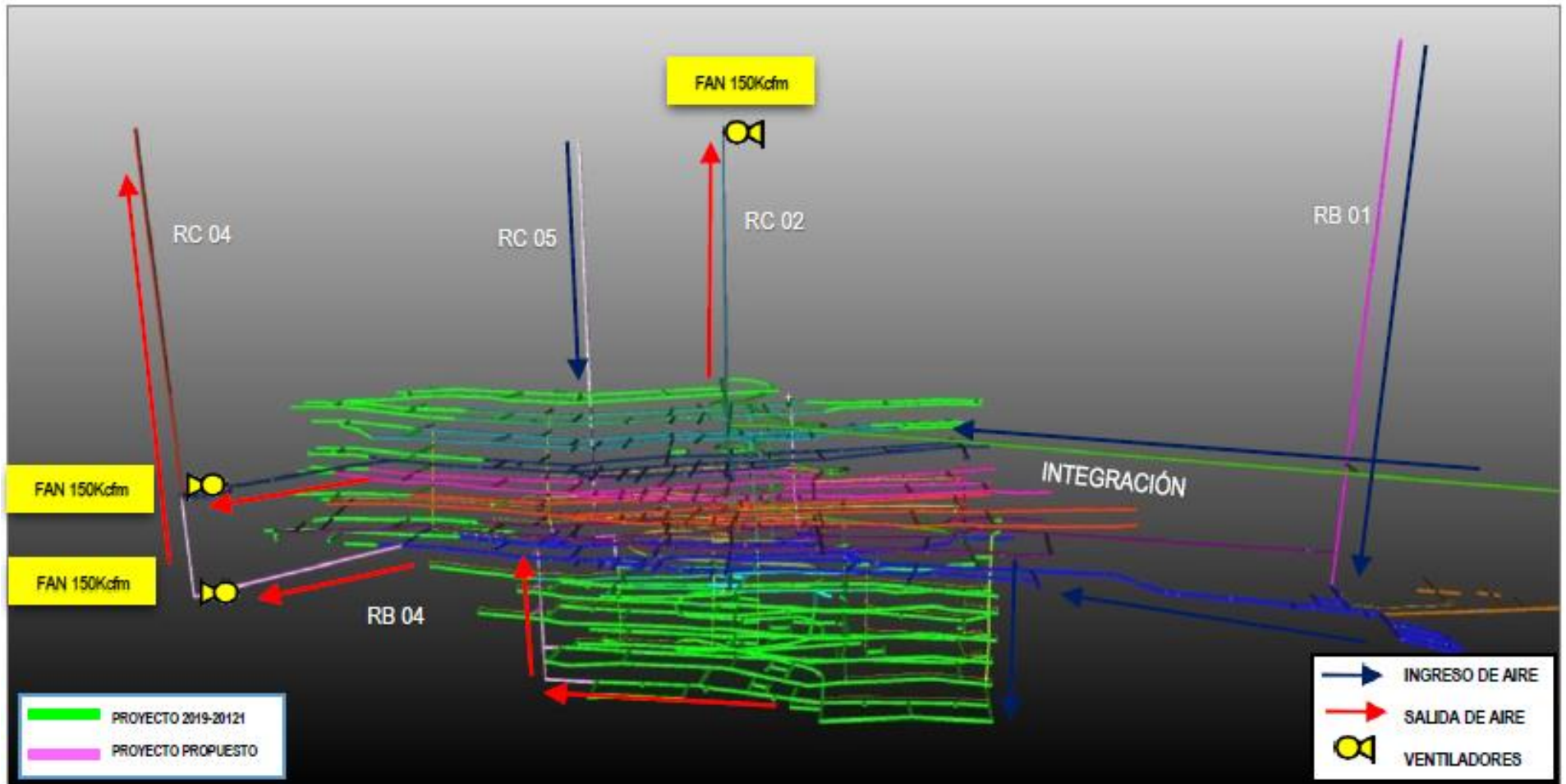
Fuente: Simulación en Ventsim

3.10.4 ALTERNATIVA 04

De acuerdo a la alternativa se plantea la construcción del RC 05 (eje de ingreso de aire conectado a superficie hacia el Nv 4306) con una sección de 3.0x3.0 mts y una longitud de 297.7 mts; así también se plantea que se prolongue el RB 04 con un diámetro de 2.4 mts y una longitud de 104.1 mts, a fin de que sirva de apoyo para el circuito de salida de aire en el RC 04 (propuesta de prolongación en el Nv 4370 hasta Nv 4306) con una sección de 2.8x2.8 mts y una longitud de 63.4 mts.

Así también se plantea en el RC 04, donde estarán instalados dos (02) ventiladores de 150,000 cfm (01 ventilador ubicado en el pie del RC 04 del Nv 4370, y otro ventilador ubicado en el pie del RC 04 prolongado en el Nv 4306) (ver **Figura 23** y Anexo 5, Plano - Alternativa 4).

Figura 23. Diseño de la Alternativa 04



Fuente: Simulación en Ventsim

a. RESUMEN DE LA RED

En el resumen de la red global se obtiene un caudal de admisión 770,885 cfm y caudal de escape 778,374 cfm (ver **Cuadro 53**). Así también se consideró que para zona Pablo el caudal de admisión 479,822 cfm y caudal de escape 477,651 cfm, siendo el requerimiento de aire 476,789 cfm. Obteniendo una cobertura de 101% para Zona Pablo.

Cuadro 53: Resumen del sistema – Escenario N°01, Alternativa 04.

RESUMEN DE LA RED DEL SISTEMA	
Flujos de aire compresible	Si
La presión de ventilación natural	Si
Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
Etapa	10: ESC. N°03 - DISEÑO NUEVOS EJES (Alt 04)
Todos los conductos de aire	3197
Actual etapa conductos	2421 y 55 Exclusión
Longitud total	39,970.5 m
Caudal de aire total de admisión	770,885 cfm
Caudal de aire total de escape	778,374 cfm
Flujo de masa total	261.66 kg/s
Resistencia de la mina (sin tubo)	0.01123 PU
Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	0.01859 PU

Fuente: Simulación en Ventsim

b. CONSUMO DE ENERGÍA

En el resumen de la potencia global se obtiene una potencia instalada eléctrica 2,50 HP y un costo de energía anual de US\$ 1,309,650 (ver **Cuadro 54**). Así también se consideró que para la zona Pablo una potencia instalada eléctrica de 1 HP y un costo de energía anual de US\$ 946,092.

Cuadro 54: Resumen de potencia – Escenario N°01, Alternativa 04.

RESUMEN DE POTENCIA	
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	1,363.5 hp Total
	467.3 hp Chimenea
	356.9 hp Conducir
	539.3 hp Conducto de ventilación
Refrigeración Potencia de entrada	0.0 hp
Potencia eléctrica de ENTRADA	2,506.1 hp
Costo de energía anual de la red	\$ 1.309.650
Eficiencia de la red	54.4 %

Fuente: Simulación en Ventsim

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resumen General de Alternativas.

Se determina que la solución óptima para la instalación de los ventiladores de 150,000 cfm, es la Alternativa 04, debido que se logra obtener una cobertura de 101%, con un caudal de ingreso y/o admisión de 479,822 cfm y un caudal de salida y/o escape de 477,651 cfm, siendo el caudal requerido de aire de 476,789 cfm. que es un dato determinado en base a LOM o vida útil de la mina (ver **Cuadro 55:**).

Cuadro 55: Resumen de 04 Alternativas -, Zona Pablo.

RESUMEN	REQUERIMIENTO ACTUAL DE AIRE ZONA "PABLO" (cfm)	INGRESO DE AIRE (cfm)	SALIDA DE AIRE (cfm)	COBERTURA	VIABILIDAD	POTENCIA INSTALADA (HP)	COSTO DE ENERGÍA ANUAL (US\$)
ALTERNATIVA 01	476,789	432,158	436,528	91%	NO VIABLE	2,490	1,301,298
ALTERNATIVA 02	476,789	483,061	480,633	101%	VIABLE	2,511	1,312,181
ALTERNATIVA 03	476,789	433,126	437,298	91%	NO VIABLE	2,184	1,141,570
ALTERNATIVA 04	476,789	479,822	477,651	101%	VIABLE	1,810	946,092

Fuente: Elaboración propia

4.2 Selección del Diámetro Óptimo Mediante Simulación en Ventsim

Ventsim realizó un estudio de costos de optimización, para el diámetro del RC 05, basado en el costo de operación del ventilador y en el costo de excavación, estos fueron un costo supuesto para el ventilador y costos promedios de excavación. Para este último costo, VentsimTM Design 5.1. ya tiene establecido en su base de datos, un valor aproximado del costo total de un ventilador por unidad de potencia (ver **Cuadro 56**).

Para ello seleccionamos la chimenea y/o ducto que será ingreso o salida de caudal de aire según se plantee a optimizar (eje del RC 05), ingresamos los datos que requiera el programa de simulación y optimización.

- Tasa de interés.
- Tiempo de proyecto.
- Costo unitario de Excavación.
- Costo unitario de energía.
- Costo fijo.

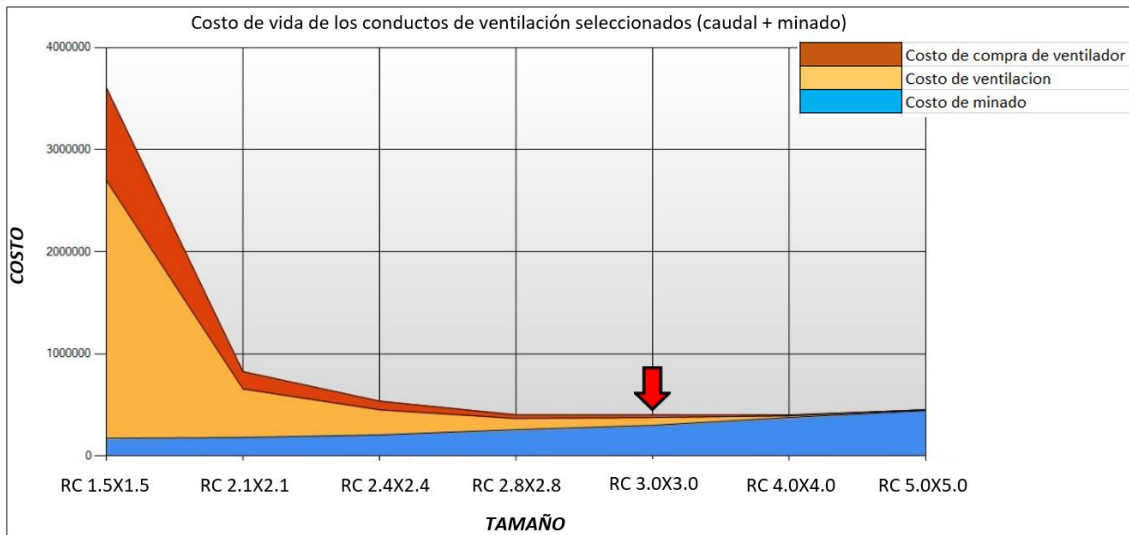
Cuadro 56. Costos unitarios de excavación por avance lineal y volumétrico

Ajustes de sistema	
Costos	
Minería	
[RESET]	No
CALCULATOR	No
Costo fijo por unidad de longitud Horizontal	\$ 909 / m
Costo fijo por unidad de longitud Vertical Rectangular	\$ 1010 / m
Costo fijo por unidad de longitud Vertical Redondo	\$ 1800 / m
Costo Variable Conducto Horizontal	\$ 48 / m ³
Costo Variable Conducto Vertical Rectangular	\$ 175 / m ³
Costo Variable Conducto Vertical Redondo	\$ 199 / m ³
Moneda	\$
Poder	
General	
Gráfica	
Simulación	
Videos	
Visualización / VentLog	

Fuente: Software Ventsim

Una vez ingresado los datos al software VentsimTM Design 5.1., realizamos la simulación de costos, donde confirmamos que la **sección ideal de la chimenea proyectada es de 3.0x3.0 m** (ver **Gráfico 3**).

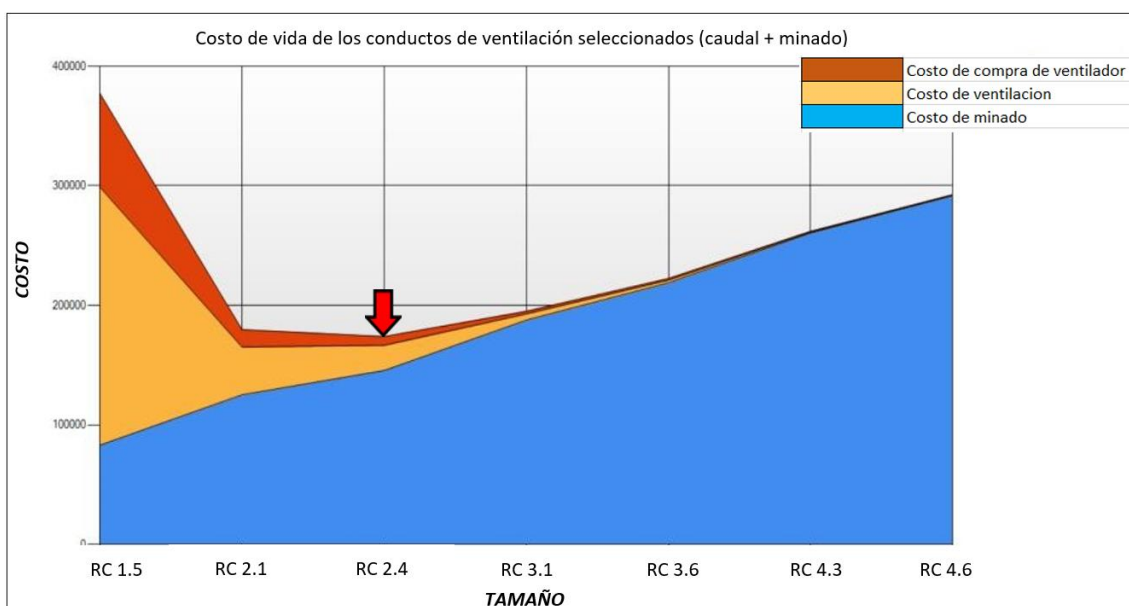
Gráfico 3: Selección del diámetro óptimo RC 05 – Método Simulación Ventsim



Fuente: Simulación en VentsimTM Design 5.1

Una vez ingresado los datos al software VentsimTM Design 5.1., realizamos la simulación de costos, donde confirmamos que el **diámetro ideal de la chimenea proyectada es de 2.4 m** (ver **Gráfico 4**).

Gráfico 4: Selección del diámetro óptimo RB 04 – Método Simulación Ventsim



Fuente: Simulación en Ventsim

4.3 Costos de inversión

a) Alternativa 01

En el presente análisis se consideró la construcción de RC 05 (eje de ingreso de aire fresco) y RB 03 (prolongación del Nv 4306 hasta Nv 4200 de profundización) propuestos para poder mejorar el sistema de ventilación.

Así también para lograr cubrir el requerimiento de aire se tiene considerado la adquisición de ventiladores de 150,000 cfm y 30,000 cfm, (ver **Cuadro 57**). Considerado un costo estimado de inversión de US\$ 1,760,343.

Cuadro 57. Costos de inversión - Alternativa 01

DISEÑO DE NUEVOS EJES (ALTERNATIVA 01)																
Item	Descripción	Detalles	Conf.	Trabajo a desarrollar	Nivel	Zona	Tipo	Sección (mts)	Forma	Gradiente	u/m	long.	Incl.	Área (m2)	P.U. (US\$/um)	Total (US\$)
1.1	Plan de avance RC 05															
1.1.1	RC 05	RC ingreso de aire	1	CH de ingreso de aire		Pablo	Labor Vertical	3.0 x 3.0	Cuadrado	-	m	310.0	90°	9.0	1,010.00	313,100
1.1.2	ACC RC 05 - NV 4418	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4418	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	4.8	-	15.0	1,024.80	4,919
1.1.3	ACC RC 05 - NV 4402	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4402	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	22.0	-	15.0	1,024.80	22,546
1.1.4	ACC RC 05 - NV 4386	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4386	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	34.1	-	15.0	1,024.80	34,946
1.1.5	ACC RC 05 - NV 4370	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4370	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	38.3	-	15.0	1,024.80	39,250
1.1.6	ACC RC 05 - NV 4354	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4354	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	35.6	-	15.0	1,024.80	36,483
1.1.7	ACC RC 05 - NV 4338	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4338	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	37.0	-	15.0	1,024.80	37,918
1.1.8	ACC RC 05 - NV 4322	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4322	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	41.9	-	15.0	1,024.80	42,939
1.1.9	ACC RC 05 - NV 4306	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	30.7	-	15.0	1,024.80	31,461
1.1.10	VE - NV 4306	Peralte en el NV 4306	1	Comunicar a CH 1940	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	15.5	-	15.0	1,024.80	15,884
1.1.11	ACC RC 05 - NV 4290	Camara de acceso RB 01	1	Labor de 4.0 x 4.0 m	4290	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	20.3	-	15.0	1,024.80	20,803
Sub Total US\$ PLAN DE AVANCES RC 05																
600,249																
1.2	Plan de avance RC 04 / RB 03															
1.2.1	RC 04	RC salida de aire	1	Prolongación RC 04	4306/4370	Pablo	Labor Vertical	3.0 x 3.0	Cuadrado	-	m	68.4	90°	9.0	1,010.00	69,084
1.2.2	ACC RC 04 - NV 4306	Cámara de acceso RC 04	1	Comunicar a RC 04	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	135.5	-	15.0	1,024.80	138,860
1.2.3	RB 03	Cámara de acceso RB 03	1	Prolongación RB 03	4306/4200	Pablo	Labor horizontal	Ø 1.8	Circular	-	m	103.6	90°	2.5	1,500.00	155,400
1.2.4	ACC RC 03 - NV 4200	Cámara de acceso RB 03	1	Comunicar a RB 03	4200	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	145.7	-	15.0	1,024.80	149,313
Sub Total US\$ PLAN DE AVANCES RC 04 / RB 03																
512,658																
1.3	Instalación Tapones/Puertas															
1.3.1	Puerta metálica	Instalación en VE 4306	1	Instalación de puerta	4306	Pablo	Resistencia	4.0 x 4.0	Baúl	-	m	-	-	15.0	2,727	2,727
1.3.2	Puerta metálica	Instalación en VE 4306	1	Instalación de puerta	4306	Pablo	Resistencia	4.0 x 4.0	Baúl	-	m	-	-	15.0	2,727	2,727
1.3.3	Puerta metálica	Instalación en camara de acceso a RC 05	1	Instalación de puerta	4306	Pablo	Resistencia	4.0 x 4.0	Baúl	-	m	-	-	15.0	2,727	2,727
Sub Total US\$ INSTALACIÓN TAPONES/PUERTAS																
8,182																
1.4	Ventiladores Propuestos															
1.4.1	Ventilador 150,000 cfm	Pie de RB 03	1	Ventilador extractor	4200	Pablo	Secundario								329,897.26	329,897
1.4.2	Ventilador 30,000 cfm	CH 1940 / RB 1949	9	Ventilador inyector	-	PAblo	Auxiliares								34,373.01	309,357
Sub Total US\$ VENTILADORES PROPUESTOS																
639,254																
Sub Total US\$ - ALTERNATIVA 01																
1,760,343																

Fuente: Elaboración propia

b) Alternativa 02

En el presente análisis se consideró la construcción de RC 05 (eje de ingreso de aire fresco) y RB 03 (prolongación del Nv 4306 hasta Nv 4200 de profundización) propuestos para poder mejorar el sistema de ventilación, la prolongación del RC 04 desde los niveles 4370 hacia 4306.

Lo variable en la presente alternativa es de acuerdo a la ubicación de los ventiladores. Así también para lograr cubrir el requerimiento de aire se tiene considerado la adquisición de ventiladores de 150,000 cfm y 30,000 cfm. Considerado un costo estimado de inversión de US\$ 1,760,343 (ver **Cuadro 58**)

Cuadro 58. Costos de inversión – Alternativa 02

DISEÑO DE NUEVOS EJES (ALTERNATIVA 02)																
Item	Descripción	Detalles	Cant.	Trabajo a desarrollar	Nivel	Zona	Tipo	Sección (mts)	Forma	Gradiente	u/m	long.	Incl.	Área (m2)	P.U. (US\$/um)	Total (US\$)
2.1	Plan de avance RC 05															
2.1.1	RC 05	RC ingreso de aire	1	CH de ingreso de aire		Pablo	Labor Vertical	3.0 x 3.0	Cuadrado	-	m	310.0	90°	9.0	1,010.00	313,100
2.1.2	ACC RC 05 - NV 4418	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4418	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	4.8	-	15.0	1,024.80	4,919
2.1.3	ACC RC 05 - NV 4402	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4402	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	22.0	-	15.0	1,024.80	22,546
2.1.4	ACC RC 05 - NV 4386	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4386	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	34.1	-	15.0	1,024.80	34,946
2.1.5	ACC RC 05 - NV 4370	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4370	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	38.3	-	15.0	1,024.80	39,250
2.1.6	ACC RC 05 - NV 4354	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4354	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	35.6	-	15.0	1,024.80	36,483
2.1.7	ACC RC 05 - NV 4338	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4338	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	37.0	-	15.0	1,024.80	37,918
2.1.8	ACC RC 05 - NV 4322	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4322	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	41.9	-	15.0	1,024.80	42,939
2.1.9	ACC RC 05 - NV 4306	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	30.7	-	15.0	1,024.80	31,461
2.1.10	VE - NV 4306	Peralte en el NV 4306	1	Comunicar a CH 1940	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	15.5	-	15.0	1,024.80	15,884
2.1.11	ACC RC 05 - NV 4290	Camara de acceso RB 01	1	Labor de 4.0 x 4.0 m	4290	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	20.3	-	15.0	1,024.80	20,803
Sub Total US\$ PLAN DE AVANCES RC 05																600,249
2.2	Plan de avance RC 04 / RB 03															
2.2.1	RC 04	RC salida de aire	1	Prolongación RC 04	4306/4370	Pablo	Labor Vertical	3.0 x 3.0	Cuadrado	-	m	68.4	90°	9.0	1,010.00	69,084
2.2.2	ACC RC 04 - NV 4306	Cámara de acceso RC 04	1	Comunicar a RC 04	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	135.5	-	15.0	1,024.80	138,860
2.2.3	RB 03	Cámara de acceso RB 03	1	Prolongación RB 03	4306/4200	Pablo	Labor horizontal	Ø 1.8	Circular	-	m	103.6	90°	2.5	1,500.00	155,400
2.2.4	ACC RC 03 - NV 4200	Cámara de acceso RB 03	1	Comunicar a RB 03	4200	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	145.7	-	15.0	1,024.80	149,313
Sub Total US\$ PLAN DE AVANCES RC 04 / RB 03																512,658
2.3	Instalación Tapones/Puertas															
2.3.1	Puerta metálica	Instalación en VE 4306	1	Instalación de puerta	4306	Pablo	Resistencia	4.0 x 4.0	Baúl	-	m	-	-	15.0	2,727	2,727
2.3.2	Puerta metálica	Instalación en VE 4306	1	Instalación de puerta	4306	Pablo	Resistencia	4.0 x 4.0	Baúl	-	m	-	-	15.0	2,727	2,727
2.3.3	Puerta metálica	Instalación en camara de acceso a RC 05	1	Instalación de puerta	4306	Pablo	Resistencia	4.0 x 4.0	Baúl	-	m	-	-	15.0	2,727	2,727
Sub Total US\$ INSTALACIÓN TAPONES/PUERTAS																8,182
2.4	Ventiladores Propuestos															
2.4.1	Ventilador 150,000 cfm	Pie de RB 03	1	Ventilador extractor	4200	Pablo	Secundario								329,897	329,897
2.4.2	Ventilador 30,000 cfm	CH 1940 / RB 1949	9	Ventilador inyector	-	PAblo	Auxiliares								34,373	309,357
Sub Total US\$ VENTILADORES PROPUESTOS																639,254
Sub Total US\$ - ALTERNATIVA 02																1,760,343

Fuente: Elaboración propia

c) Alternativa 03

En el presente análisis se consideró la construcción de RC 05 (eje de ingreso de aire fresco) y RB 04 (eje de salida de aire conectado del Nv 4306 hasta Nv 4200 de profundización) propuestos para poder mejorar el sistema de ventilación, la prolongación del RC 04 desde los niveles 4370 hacia 4306.

Lo variable en la presente alternativa es de acuerdo a la ubicación de los ventiladores. Así también para lograr cubrir el requerimiento de aire se tiene considerado la adquisición de ventiladores de 150,000 cfm y 30,000 cfm. Considerado un costo estimado de inversión de US\$ 1,731,066 (ver **Cuadro 59**).

Cuadro 59. Costos de inversión - Alternativa 03.

ESCENARIO N°03 - DISEÑO DE NUEVOS EJES (ALTERNATIVA 03)																
Item	Descripción	Detalles	Cant.	Trabajo a desarrollar	Nivel	Zona	Tipo	Sección (mts)	Forma	Gradiente	u/m	long.	Incl.	Área (m2)	P.U. (US\$/um)	Total (US\$)
3.1	Plan de avance RC 05															
3.1.1	RC 05	RC ingreso de aire	1	CH de ingreso de aire		Pablo	Labor Vertical	3.0 x 3.0	Cuadrado	-	m	310.0	90°	9.0	1,010.00	313,100
3.1.2	ACC RC 05 - NV 4418	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4418	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	4.8	-	15.0	1,024.80	4,919
3.1.3	ACC RC 05 - NV 4402	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4402	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	22.0	-	15.0	1,024.80	22,546
3.1.4	ACC RC 05 - NV 4386	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4386	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	34.1	-	15.0	1,024.80	34,946
3.1.5	ACC RC 05 - NV 4370	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4370	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	38.3	-	15.0	1,024.80	39,250
3.1.6	ACC RC 05 - NV 4354	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4354	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	35.6	-	15.0	1,024.80	36,483
3.1.7	ACC RC 05 - NV 4338	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4338	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	37.0	-	15.0	1,024.80	37,918
3.1.8	ACC RC 05 - NV 4322	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4322	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	41.9	-	15.0	1,024.80	42,939
3.1.9	ACC RC 05 - NV 4306	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	30.7	-	15.0	1,024.80	31,461
3.1.10	VE - NV 4306	Peralte en el NV 4306	1	Comunicar a CH 1940	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	15.5	-	15.0	1,024.80	15,884
3.1.11	ACC RC 05 - NV 4290	Camara de acceso RB 01	1	Labor de 4.0 x 4.0 m	4290	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	20.3	-	15.0	1,024.80	20,803
Sub Total US\$ PLAN DE AVANCES RC 05																600,249
3.2	Plan de avance RC 04 / RB 03															
3.2.1	RC 04	RC salida de aire	1	Prolongación RC 04	4306/4370	Pablo	Labor Vertical	3.0 x 3.0	Cuadrado	-	m	68.4	90°	9.0	1,010.00	69,084
3.2.2	ACC RC 04 - NV 4306	Cámara de acceso RC 04	1	Comunicar a RC 04	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	135.5	-	15.0	1,024.80	138,860
3.2.3	RB 04	RB salida de aire	1	Construcción de RB 04	4306/4200	Pablo	Labor Vertical	Φ 2.4	Circular	-	m	104.1	90°	4.5	1,500.00	156,150
3.2.4	ACC RB 04 - NV 4306	Cámara de acceso RB 04	1	Comunicar a RB 04	4306	Pablo	Labor horizontal	4.5 x 4.5	Baúl	0°	m	14.9	-	19.0	1,024.80	15,270
3.2.5	ACC RB 04 - NV 4296	Cámara de acceso RB 04	1	Comunicar a RB 04	4296	Pablo	Labor horizontal	4.5 x 4.5	Baúl	0°	m	16.5	-	19.0	1,024.80	16,909
3.2.6	ACC RB 04 - NV 4280	Cámara de acceso RB 04	1	Comunicar a RB 04	4280	Pablo	Labor horizontal	4.5 x 4.5	Baúl	0°	m	15.5	-	19.0	1,024.80	15,884
3.2.7	ACC RB 04 - NV 4260	Cámara de acceso RB 04	1	Comunicar a RB 04	4260	Pablo	Labor horizontal	4.5 x 4.5	Baúl	0°	m	18.6	-	19.0	1,024.80	19,061
3.2.8	ACC RB 04 - NV 4230	Prolong BP de acceso RB 04	1	Comunicar a RB 04	4230	Pablo	Labor horizontal	4.5 x 4.5	Baúl	0°	m	13.6	-	19.0	1,024.80	13,937
3.2.9	ACC RB 04 - NV 4200	Prolong BP de acceso RB 04	1	Comunicar a RB 04	4200	Pablo	Labor horizontal	4.5 x 4.5	Baúl	0°	m	37.3	-	19.0	1,024.80	38,229
Sub Total US\$ PLAN DE AVANCES RC 04 / RB 04																483,381
3.3	Instalación Tapones/Puertas															
3.3.1	Puerta metálica	Instalación en VE 4306	1	Instalación de puerta	4306	Pablo	Resistencia	4.0 x 4.0	Baúl	-	m	-	-	15.0	2,727	2,727
3.3.2	Puerta metálica	Instalación en VE 4306	1	Instalación de puerta	4306	Pablo	Resistencia	4.0 x 4.0	Baúl	-	m	-	-	15.0	2,727	2,727
3.3.3	Puerta metálica	Instalación en camara de acceso a RC 05	1	Instalación de puerta	4306	Pablo	Resistencia	4.0 x 4.0	Baúl	-	m	-	-	15.0	2,727	2,727
Sub Total US\$ INSTALACIÓN TAPONES/PUERTAS																8,182
3.4	Ventiladores Propuestos															
3.4.1	Ventilador 150,000 cfm	Pie de RB 03	1	Ventilador extractor	4200	Pablo	Secundario								329,897	329,897
3.4.2	Ventilador 30,000 cfm	CH 1940 / RB 1949	9	Ventilador inyector	-	Pablo	Auxiliares								34,373	309,357
Sub Total US\$ VENTILADORES PROPUESTOS																639,254
Sub Total US\$ ESCENARIO N°03 - ALTERNATIVA 03																1,731,066

Fuente: Elaboración propia.

d) Alternativa 04

En el presente análisis se consideró la construcción de RC 05 (eje de ingreso de aire fresco) y RB 04 (eje de salida de aire conectado del Nv 4306 hasta Nv 4200 de profundización) propuestos para poder mejorar el sistema de ventilación, la prolongación del RC 04 desde los niveles 4370 hacia 4306.

Lo variable en la presente alternativa es de acuerdo a la ubicación de los ventiladores. Así también para lograr cubrir el requerimiento de aire se tiene considerado la adquisición de ventiladores de 30,000 cfm. Considerado un costo estimado de inversión de US\$ 1,401,169 (ver **Cuadro 60**).

Cuadro 60. Costos de inversión en el estado actual vs Alternativa 04

ESCENARIO N°03 - DISEÑO DE NUEVOS EJES (ALTERNATIVA 04)																
Item	Descripción	Detalles	Cant.	Trabajo a desarrollar	Nivel	Zona	Tipo	Sección (mts)	Forma	Gradiente	u/m	long.	Incl.	Área (m2)	P.U. (US\$/um)	Total (US\$)
4.1	Plan de avance RC 05															
4.1.1	RC 05	RC ingreso de aire	1	CH de ingreso de aire		Pablo	Labor Vertical	3.0 x 3.0	Cuadrado	-	m	310.0	90°	9.0	1,010.00	313,100
4.1.2	ACC RC 05 - NV 4418	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4418	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	4.8	-	15.0	1,024.80	4,919
4.1.3	ACC RC 05 - NV 4402	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4402	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	22.0	-	15.0	1,024.80	22,546
4.1.4	ACC RC 05 - NV 4386	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4386	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	34.1	-	15.0	1,024.80	34,946
4.1.5	ACC RC 05 - NV 4370	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4370	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	38.3	-	15.0	1,024.80	39,250
4.1.6	ACC RC 05 - NV 4354	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4354	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	35.6	-	15.0	1,024.80	36,483
4.1.7	ACC RC 05 - NV 4338	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4338	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	37.0	-	15.0	1,024.80	37,918
4.1.8	ACC RC 05 - NV 4322	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4322	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	41.9	-	15.0	1,024.80	42,939
4.1.9	ACC RC 05 - NV 4306	Cámara de acceso RC 05	1	Comunicar a RC 05	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	30.7	-	15.0	1,024.80	31,461
4.1.10	VE - NV 4306	Peralte en el NV 4306	1	Comunicar a CH 1940	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	15.5	-	15.0	1,024.80	15,884
4.1.11	ACC RC 05 - NV 4290	Camara de acceso RB 01	1	Labor de 4.0 x 4.0 m	4290	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	20.3	-	15.0	1,024.80	20,803
Sub Total US\$ PLAN DE AVANCES RC 05																600,249
4.2	Plan de avance RC 04 / RB 03															
4.2.1	RC 04	RC salida de aire	1	Prolongación RC 04	4306/4370	Pablo	Labor Vertical	3.0 x 3.0	Cuadrado	-	m	68.4	90°	9.0	1,010.00	69,084
4.2.2	ACC RC 04 - NV 4306	Cámara de acceso RC 04	1	Comunicar a RC 04	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	135.5	-	15.0	1,024.80	138,860
4.2.3	RB 04	RB salida de aire	1	Construcción de RB 04	4306/4200	Pablo	Labor Vertical	Φ 2.4	Circular	-	m	104.1	90°	4.5	1,500.00	156,150
4.2.4	ACC RB 04 - NV 4306	Cámara de acceso RB 04	1	Comunicar a RB 04	4306	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	14.9	-	15.0	1,024.80	15,270
4.2.5	ACC RB 04 - NV 4296	Cámara de acceso RB 04	1	Comunicar a RB 04	4296	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	16.5	-	15.0	1,024.80	16,909
4.2.6	ACC RB 04 - NV 4280	Cámara de acceso RB 04	1	Comunicar a RB 04	4280	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	15.5	-	15.0	1,024.80	15,884
4.2.7	ACC RB 04 - NV 4260	Cámara de acceso RB 04	1	Comunicar a RB 04	4260	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	18.6	-	15.0	1,024.80	19,061
4.2.8	ACC RB 04 - NV 4230	Prolong BP de acceso RB 04	1	Comunicar a RB 04	4230	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	13.6	-	15.0	1,024.80	13,937
4.2.9	ACC RB 04 - NV 4200	Prolong BP de acceso RB 04	1	Comunicar a RB 04	4200	Pablo	Labor horizontal	4.0 x 4.0	Baúl	0°	m	37.3	-	15.0	1,024.80	38,229
Sub Total US\$ PLAN DE AVANCES RC 04 / RB 04																483,381
4.3	Instalación Tapones/Puertas															
4.3.1	Puerta metálica	Instalación en VE 4306	1	Instalación de puerta	4306	Pablo	Resistencia	4.0 x 4.0	Baúl	-	m	-	-	15.0	2,727	2,727
4.3.2	Puerta metálica	Instalación en VE 4306	1	Instalación de puerta	4306	Pablo	Resistencia	4.0 x 4.0	Baúl	-	m	-	-	15.0	2,727	2,727
4.3.3	Puerta metálica	Instalación en cámara de acceso a RC 05	1	Instalación de puerta	4306	Pablo	Resistencia	4.0 x 4.0	Baúl	-	m	-	-	15.0	2,727	2,727
Sub Total US\$ INSTALACIÓN TAPONES/PUERTAS																8,182
4.4	Ventiladores Propuestos															
4.4.1	Ventilador 30,000 cfm	CH 1940 / RB 1949	9	Ventilador inyector	-	Pablo	Auxiliares								34,373	309,357
Sub Total US\$ VENTILADORES PROPUESTOS																309,357
Sub Total US\$ ESCENARIO N°03 - ALTERNATIVA 04																1,401,169

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Análisis Económico – (TRADE Off)

Para el presente análisis es óptimo considerar que dicho análisis aplica para la Zona Pablo donde se realizará el principal avance proyectado, excluyendo a Zona Yurika.

Es así, que mediante éste análisis se busca determinar la alternativa óptima que genere una cobertura mayor al 100%, y también un menor costo de capital y operativo en el tiempo (CAPEX y OPEX), todo nos debe llevar a un costo por ventilación que está comprendido en 03 años.

Para dicho análisis se consideró un incremento de 3.4% de la producción actual de 2522 t/d a 2607 t/d (ver **Cuadro 61**), en base que el incremento de equipos sería de (02) dos volquetes.

Cuadro 61. Producción actual y proyectada

	Día t/d	Mes t/d	Año t/d
Producción 2018	2,522	75,660	907,920
Producción 2019-2021	2,607	78,210	938,520

Fuente: Área de planeamiento – Mina Pallancata

CAPEX

Se realizó el análisis para poder determinar el costo capital para las 04 alternativas presentes. Dicho cálculo está basado en la producción actual y proyectada. **Se verificó la viabilidad y ahorro en la Alternativa 04** que resulta en un costo unitario de 1.49 US\$/TMS (ver **Cuadro 62**) .

Cuadro 62. Análisis de CAPEX

Ítem	Descripción	U/M	Actual ene-19	- DISEÑO DE NUEVOS EJES			
				Alternativa 01 03 años	Alternativa 02 03 años	Alternativa 03 03 años	Alternativa 04 03 años
1	Producción de mineral	TM/año	907,920	907,920	938,520	938,520	938,520
2	Caudal de aire total de admisión	cfm	233,813	432,158	483,061	433,126	479,822
3	Caudal de aire total de escape	cfm	224,729	436,528	480,633	437,298	477,651
4	Caudal Requerido	cfm	421,208	476,789	476,789	476,789	476,790
5	Cobertura	%	56%	91%	101%	91%	101%
6	Costo Capital por año	US\$		1,760,343	1,760,343	1,731,066	1,401,169
7	Costo Unitario Caudal	US\$/cfm	-	4.07	3.64	4.00	2.92
8	Costo Unitario CAPEX	US\$/TMS	-	1.94	1.88	1.84	1.49

Fuente: Elaboración propia

OPEX

Se realizó el análisis para así determinar el costo operativo que, representado por 03 años, dando como comparativo las 04 alternativas. **Se determinó el menor costo operativo en la Alternativa 04, con un costo unitario OPEX de 1.18 US\$/TMS (ver Cuadro 63)**

Cuadro 63: Análisis de OPEX

Ítem	Descripción	U/M	Actual	DISEÑO DE NUEVOS EJES			
			Ene-19	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04
				03 años	03 años	03 años	03 años
1	1 Producción de mineral (Referencial) TM/año	-	907,920	907,920	938,520	938,520	938,520
2	2 Total de ventiladores Principales	-	1	3	3	3	3
3	3 Total de ventiladores Secundarios	-	2	2	2	1	1
4	4 Caudal de aire total de admisión	cfm	233,813	432,158	483,061	433,126	479,822
5	5 Caudal de aire total de escape	cfm	224,729	436,528	480,633	437,298	477,651
6	6 Potencia eléctrica de Entrada	kW	1586.3	2,229	2,132	2,125	1,877
7	7 Consumo de Energía	US\$	828,942	1,160,824	1,110,052	1,106,565	976,882
8	8 Mano de obra - 10 personas (3%)	US\$		34,825	33,302	33,197	29,306
9	9 Mantenimiento/Repuestos (10%)	US\$		116,082	111,005	110,657	97,688
10	10 Costo Operación por año	US\$	828,942	1,311,732	1,254,359	1,250,419	1,103,877
11	11 Costo Unitario Caudal	US\$/cfm	3.55	3.04	2.6	2.89	2.3
12	12 Costo Unitario OPEX	US\$/TMS	0.91	1.44	1.34	1.33	1.18

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Costo De Ventilación

Un factor importante para determinar la viabilidad de las 04 alternativas, es determinar el costo de ventilación (sumatoria de CAPEX y OPEX), **dando como resultado final y viabilidad en base al ahorro de energía, Alternativa 04** con un costo de ventilación unitario de 5.22 \$/TMS (ver **Cuadro 64**).

Cuadro 64: Análisis de Costos de Ventilación

Item	Descripción	U/M	Actual	DISEÑO DE NUEVOS EJES			
				Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03	Alternativa 04
			dic-18	03 años	03 años	03 años	03 años
1	Producción de mineral	TM/año	907,920	907,920	938,520	938,520	938,520
2	Costo de Capital - CAPEX	US\$/Año		1,760,343	1,760,343	1,731,066	1,401,169
3	Costo Unitario CAPEX	US\$/TMS		4.07	3.64	4.00	2.92
4	Costo de Capital - OPEX	US\$/Año	828,942	1,311,732	1,254,359	1,250,419	1,103,877
5	Costo Unitario OPEX	US\$/TMS	3.55	3.04	2.60	2.89	2.30
6	Total (CAPEX + OPEX)	US\$/Año	828,942	3,072,075	3,014,702	2,981,485	2,505,046
7	COSTO DE VENTILACIÓN	US\$/TMS	3.55	7.11	6.24	6.88	5.22

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se presenta la **Cuadro 65** de los escenarios por **cada año**, donde se verifica que el costo ventilación en el estado actual vs Alternativa 04 es de 3.55 US\$/TMS y 1.74 US\$/TMS, respectivamente.

Cuadro 65: Análisis de Costo de Ventilación, anualizado

Ítem	Descripción	U/M	Actual	DISEÑO DE NUEVOS EJES											
				Alternativa 01			Alternativa 02			Alternativa 03			Alternativa 04		
				Ene-19	1er año	2do año	3er año	1er año	2do año	3er año	1er año	2do año	3er año	1er año	2do año
1	Producción de mineral	TM/año	907,920	907,920	907,920	907,920	938,520	938,520	938,520	938,520	938,520	938,520	938,520	938,520	938,520
2	Costo de Capital - CAPEX	US\$/Año		586,781	586,781	586,781	586,781	586,781	586,781	577,022	577,022	577,022	467,056	467,056	467,056
3	Costo Unitario CAPEX	US\$/TMS		1.36	1.36	1.36	1.21	1.21	1.21	1.33	1.33	1.33	0.97	0.97	0.97
4	Costo de Capital - OPEX	US\$/Año	828,942	437,244	437,244	437,244	418,120	418,120	418,120	416,806	416,806	416,806	367,959	367,959	367,959
5	Costo Unitario OPEX	US\$/TMS	3.55	1.01	1.01	1.01	0.87	0.87	0.87	0.96	0.96	0.96	0.77	0.77	0.77
6	Total (CAPEX + OPEX)	US\$/Año	828,942	1,024,025	1,024,025	1,024,025	1,004,901	1,004,901	1,004,901	993,828	993,828	993,828	835,015	835,015	835,015
7	COSTO DE VENTILACIÓN	US\$/TMS	3.55	2.37	2.37	2.37	2.08	2.08	2.08	2.29	2.29	2.29	1.74	1.74	1.74

Fuente: Elaboración propia

4.6 Caudal

En base al análisis los resultados que se obtuvieron fueron en base al incremento en porcentaje, donde se tiene que la Alternativa 01 y 02, nos entregan un incremento de caudal del 85% con respecto al caudal actual y la alternativa 03 y 04 un incremento de 46% con respecto al caudal actual. Por lo tanto las alternativas 3 y 4 tienen una menor variación en comparación con el sistema de ventilación actual (ver **Cuadro 66**).

Cuadro 66: Variación Porcentual de KPI Caudal

Zona	Actual	Alternativas				Var. Porcentual			
		Alt 01	Alt 02	Alt 03	Alt 04	Alt 01	Alt 02	Alt 03	Alt 04
PABLO	390,000	720,000	720,000	570,000	570,000	85%	85%	46%	46%

Fuente: Elaboración propia

4.7 Potencia

Se realizó el análisis en base a la potencia instalada en los ventiladores principales y secundarios, donde se obtuvieron como resultados válidos el incremento minorizado en la Alternativa 04 de un 59%, y para las demás alternativas se encuentran por encima del 50% (ver **Cuadro 67**).

Siendo la potencia instalada eléctrica para el estado actual de 453 kW, y para la Alternativa 04 de 719kW.

Cuadro 67. Variación Porcentual de Potencia

Zona	Actual	Alternativas				Var. Porcentual			
		Alt 01	Alt 02	Alt 03	Alt 04	Alt 01	Alt 02	Alt 03	Alt 04
PABLO	453	981	907	903	719	117%	100%	99%	59%

Fuente: Elaboración propia

4.7.1 Costo Anual

En el Costo Anual dado en base al consumo de energía. Para el presente análisis se obtuvo como resultado óptimo la Alternativa 04 con un Costo de US\$ 504,106 por ventilación principal y secundaria, con un incremento de 59%

Cuadro 68).

Cuadro 68: Variación Porcentual de KPI Costo Anual en \$.

Zona	Actual	Alternativas				Variación Porcentual			
		Alt. 01	Alt. 02	Alt. 03	Alt. 04	Alt. 01	Alt. 02	Alt. 03	Alt. 04
PABLO	317,182	687,345	635,626	632,963	504,156	117%	100%	100%	59%

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2 Costo Unitario de energía

En base al Costo Anual, se determinó el Costo Unitario de energía, donde se obtuvo como resultado consecuente en la Alternativa 04 con un costo unitario de 3.09 \$/TMS, y con un incremento del 59% respecto al costo actual, por tanto, para las demás alternativas se encuentran por encima del 50% (ver **Cuadro 69**).

Cuadro 69: Variación Porcentual – KPI Costo unitario de energía en \$/TMS.

Zona	Actual	Alternativas				Var. Porcentual			
		Alt 01	Alt 02	Alt 03	Alt 04	Alt 01	Alt 02	Alt 03	Alt 04
PABLO	1.947	4.22	3.9	3.88	3.09	117%	100%	99%	59%

Fuente: Elaboración propia.

4.7.3 Comparación de sistema de ventilación actual con alternativa elegida.

El requerimiento de aire para la alternativa 4 en comparación con el requerimiento actual es de 13.2% más, el ingreso de aire para la alternativa 4 es un 13.92% más, la salida de aire es 13.4% más, la cobertura mejora en un 100%, la potencia instalada disminuye un 99.57% y el costo de energía anual disminuye en 124.61%. La alternativa 4 es la mejor porque ofrece un menor costo de energía anual 946092 US\$/año (ver **Cuadro 70**).

Cuadro 70. Cuadro final comparativo

	REQUERIMIENTO ACTUAL DE AIRE	INGRESO DE AIRE	SALIDA DE AIRE	COBERTURA	POTENCIA INSTALADA	COSTO DE ENERGÍA ANUAL (US\$)
	(cfm)	(cfm)	(cfm)		(HP)	
SISTEMA ACTUAL	421,208	233,813	230,407	56%	2233.9	1231657
ALTERNATIVA 01	476,789	432,158	436,528	91%	2,490	1,301,298
ALTERNATIVA 02	476,789	483,061	480,633	101%	2,511	1,312,181
ALTERNATIVA 03	476,789	433,126	437,298	91%	2,184	1,141,570
ALTERNATIVA 04	476,789	479,822	477,651	101%	1,810	946,092
DIFERENCIA	13.20%	13.92%	13.40%	100.00%	-99.57%	-124.61%

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El sistema de ventilación inicial es deficiente debido a que se requiere 421,208 cfm y se tiene un abastecimiento de caudal con 230,407 teniendo obteniendo una cobertura del caudal de aire requerido de solo 56%. Para poder obtener el sistema de ventilación óptimo proyectado se debía realizar un estudio técnico económico en el cual se realice la comparación de diferentes alternativas de sistemas de ventilación para afrontar los requerimientos de ventilación para satisfacer el aumento de producción proyectados a mediano plazo (los siguientes 3 años). Las alternativas de ventilación fueron 4 comparando los aspectos operativos y de costos, se concluyó que la alternativa 4 es la mejor debido a que tuvo el mejor costo total considerando los costos de inversión y operativos.
2. Las deficiencias del sistema de ventilación se determinaron en función de los requerimientos de ventilación y la cantidad de aire limpio que se obtiene mediante el sistema de ventilación tanto en las zonas Pablo como Yurika. En la zona "Pablo" requiere de 421,208 cfm comparado con el ingreso de aire, tiene una cobertura de 56%. En la zona "Yurika" requiere 139,724 cfm. Con el ingreso actual de aire tiene una cobertura de 206%.
3. Para diseñar el sistema de ventilación proyectado se requiere tener en cuenta que de acuerdo con el LOM de la Unidad Operativa Pallancata, al 2019, la zona "Pablo" deberá tener 14 niveles. El requerimiento de aire será de 476,789 cfm para cumplir con este requerimiento se analizaron 4 alternativas de ventilación de las cuales la alternativa 01 y la alternativa 03 quedaron descartadas debido a que ofrecen una cobertura menor al 100%, las alternativas 02 y 04 cubren el requerimiento de caudal de aire en un 101%. La alternativa 01 requiere un costo total unitario de 6.24 US\$/TMS mientras que la alternativa 02 requiere un costo total unitario de 5.22 US\$/TMS.

4. Se realizó 4 alternativas de ventilación que comprenden el avance de Zona Pablo en la profundización (Nv. 4280 hacia Nv. 4200), tomando en cuenta la instalación de 02 ventiladores de 150,000 cfm. Es así que se toma en cuenta que la solución óptima es la Alternativa 04, entregando una cobertura óptima de 101%. Para poder determinar la solución óptima se tuvo que realizar el análisis económico CAPEX y OPEX, así también el índice de rendimiento de caudal, potencia y costo unitario total en US\$/TMS, donde se determinó indefectiblemente dicha solución debido a que provee una cobertura de requerimientos de caudal del 101%, requiere una menor potencia instalada de 1810 HP y tiene un menor costo unitario total de 5.22 US\$/TMS

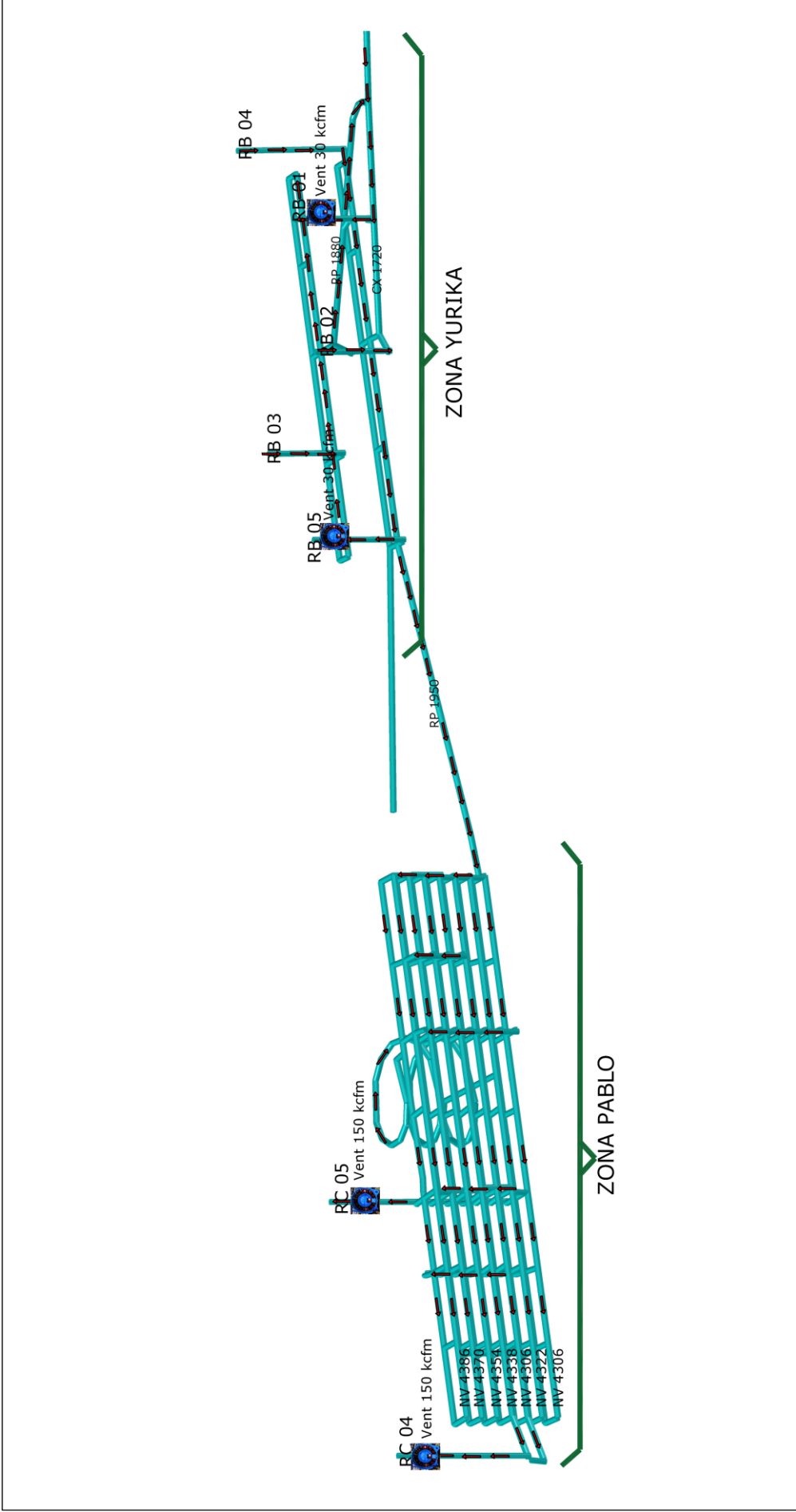
RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuamente plantear nuevas alternativas de ventilación a medida que se avance con la modificación o adición de nuevas zonas de explotación. Esto permitirá siempre aplicar las mejores alternativas de ventilación lo cual se traducirá en disminución de costos de inversión y operativos, así como el cumplimiento de los requerimientos de caudal de aire.
2. Se recomienda indefectiblemente el monitoreo periódico de las labores de la mina, mantenimiento y calibración, verificando velocidades de aire, Es recomendable mantener actualizado el modelo en Ventsim™ Design 5.1, versión actualizada a la fecha y ello logrará obtener resultados planeados y así evitar eventos fortuitos.
3. Actualizar continuamente el diseño de sistemas de ventilación, lo cual permitirá la simulación de alternativas de ventilación.
4. Siempre hacer un análisis económico de todas las alternativas de ventilación presentadas por el área de ventilación en coordinación con el área de planeamiento para determinar siempre la alternativa de ventilación más óptima.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Carabajo Naula Carla Sofía. 2015. Diseño Del Circuito De Ventilación De La Zona Norte De La Mina Cabo De Hornos, Ubicada En El Distrito Aurífero - Polimetálico Portovelo - Zaruma. Universidad Central De Ecuador.
- Castillo Arang D. 2017. Evaluación Del Sistema De Ventilación De La Mina El Roble. Universidad Tecnológica Y Pedagógica De Colombia.
- Centromin – Perú. (1970) “Ventilación de minas” (1ed.) Junin-Peru
- Fernández Felgueroso, José Manuel; Luque Cabal, Vicente. (1975) “Lecciones de ventilación de minas”. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Oviedo.
- Gutiérrez Aravena. 2010. Recirculación Controlada En Minería Subterránea. Universidad De Chile
- Hartman, H.L., Mutmanský, J.M., and Wang, Y.J. (1982.) “Mine ventilation and air conditioning. s.l.: John Wiley & Sons, INC.
- Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos.(2006) “Metodología de la investigación”. Cuarta edición McGraw Hill México
- López Jimeno. (1997) “Manual de túneles y obras subterráneas”. (1ed.) - Madrid
- Malcolm J. McPherson, (2003) , “Subsurface Ventilation Engineering” (1ed.) springer-netherlands
- Pablo Jiménez Ascanio (2012). “ventilación de minas subterráneas y túneles”. (1ed.) Lima- Perú.
- Portilla Salazar R. 2018. Propuesta Técnica De Mejora Del Sistema De Ventilación Principal De Una Operación Minera Subterránea Polimetálica. Pontificia Universidad Católica Del Perú

ANEXO - 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
Sistema de Ventilación Inicial - Zonas Pablo y Yurika	
Dibujado: Richard Mamani Condori	
Octubre -2019	Escala: Grafica

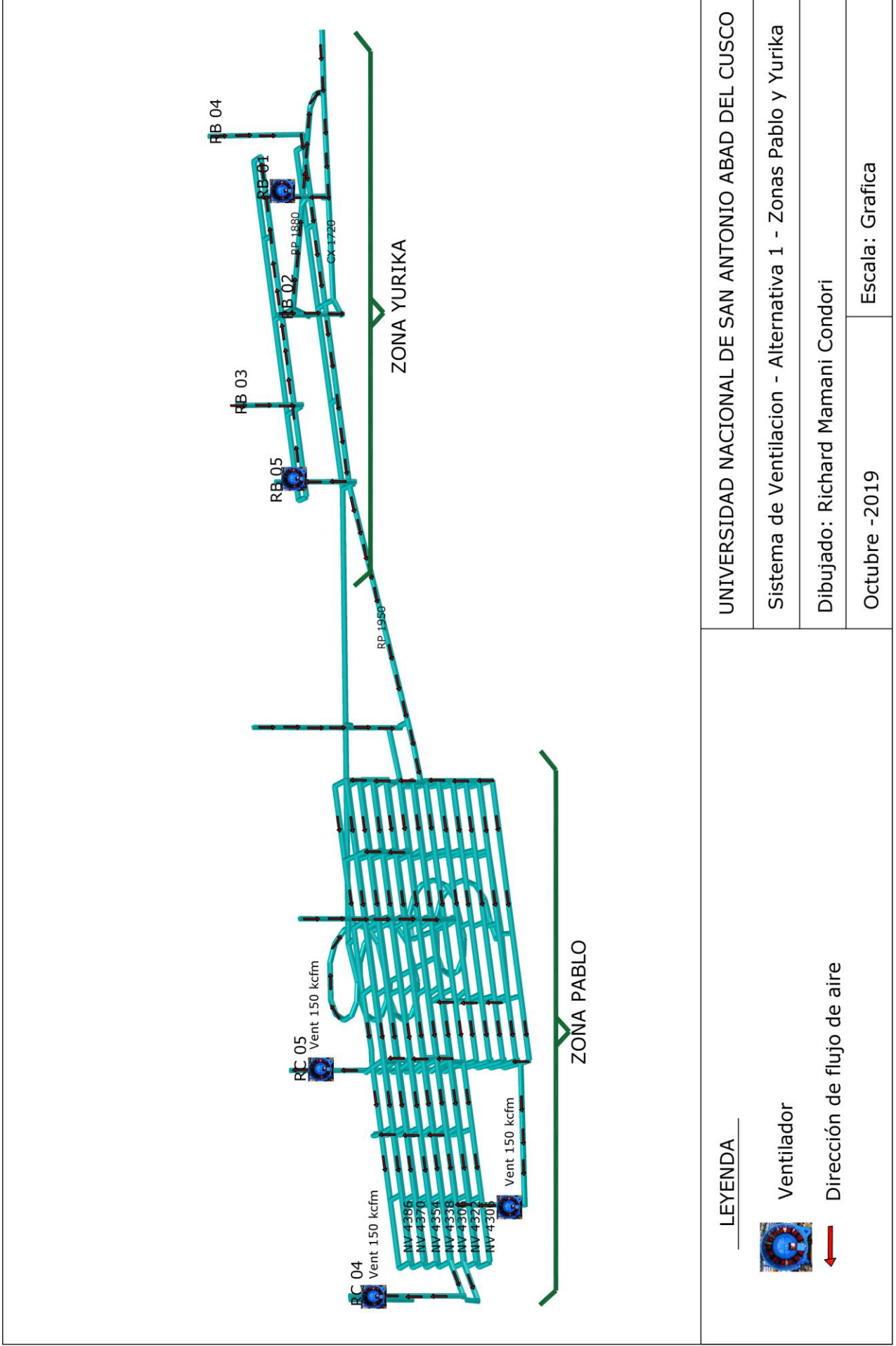
LEYENDA



Ventilador

← Dirección de flujo de aire

ANEXO - 2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

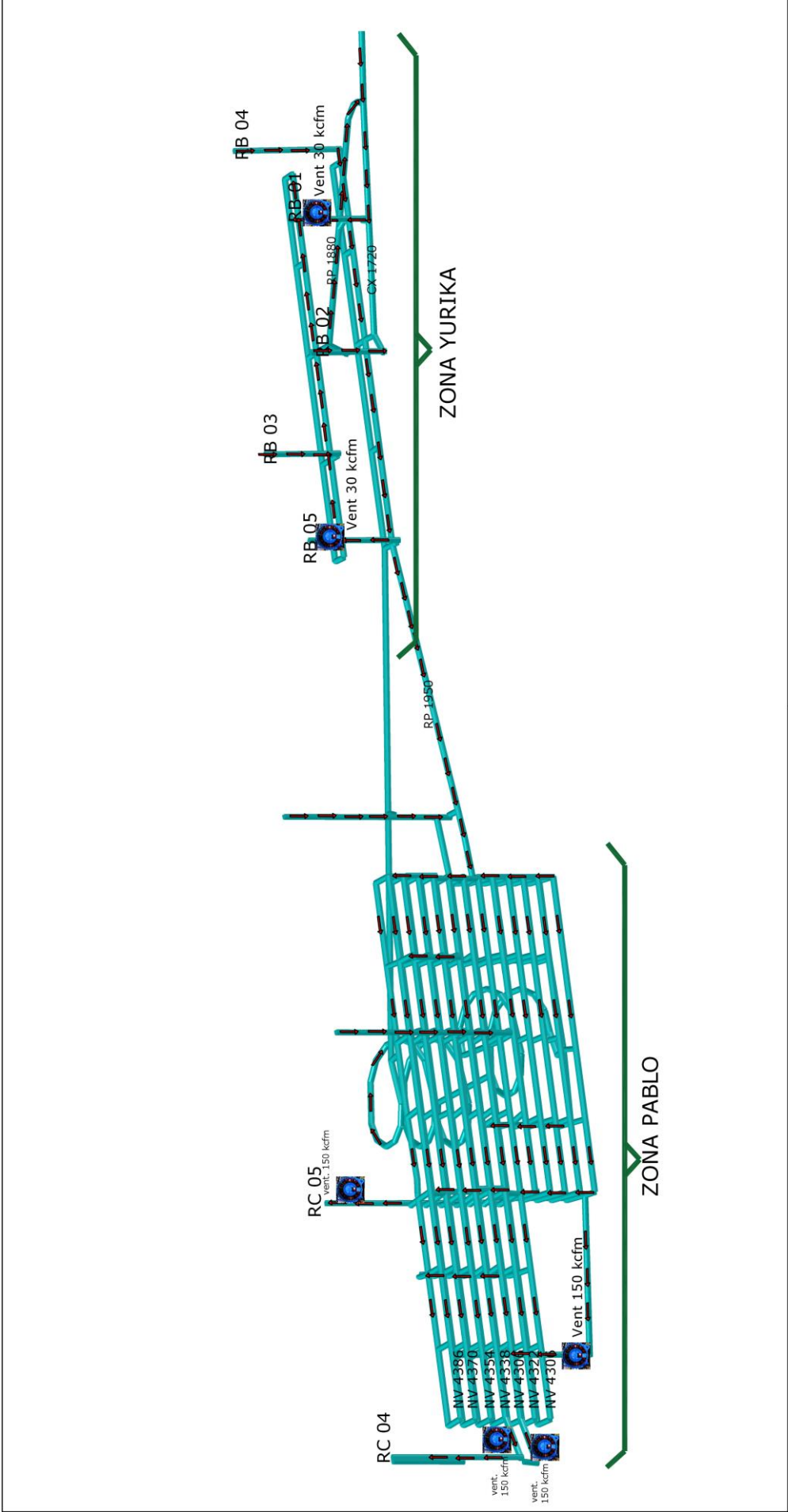
Sistema de Ventilacion - Alternativa 1 - Zonas Pablo y Yurika

Dibujado: Richard Mamani Condori

Octubre -2019

Escala: Grafica

ANEXO – 3



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
Sistema de Ventilacion - Alternativa 2 - Zonas Pablo y Yurika	
Dibujado: Richard Mamani Condori	
Octubre -2019	Escala: Grafica

LEYENDA

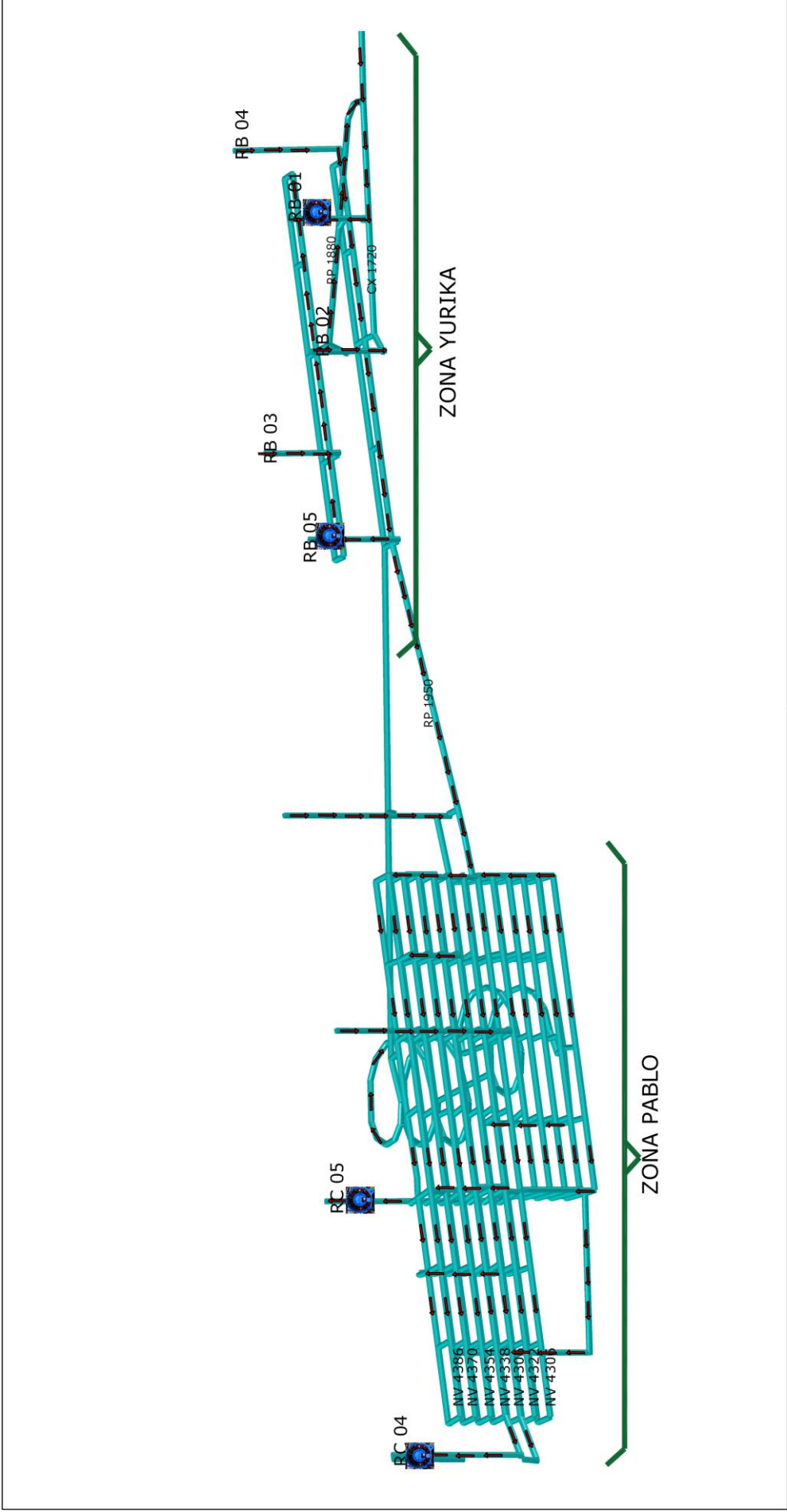


Ventilador



Dirección de flujo de aire

ANEXO – 4



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
Sistema de Ventilacion - Alternativa 3 - Zonas Pablo y Yurika	
Dibujado: Richard Mamani Condori	
Octubre -2019	Escala: Grafica

LEYENDA

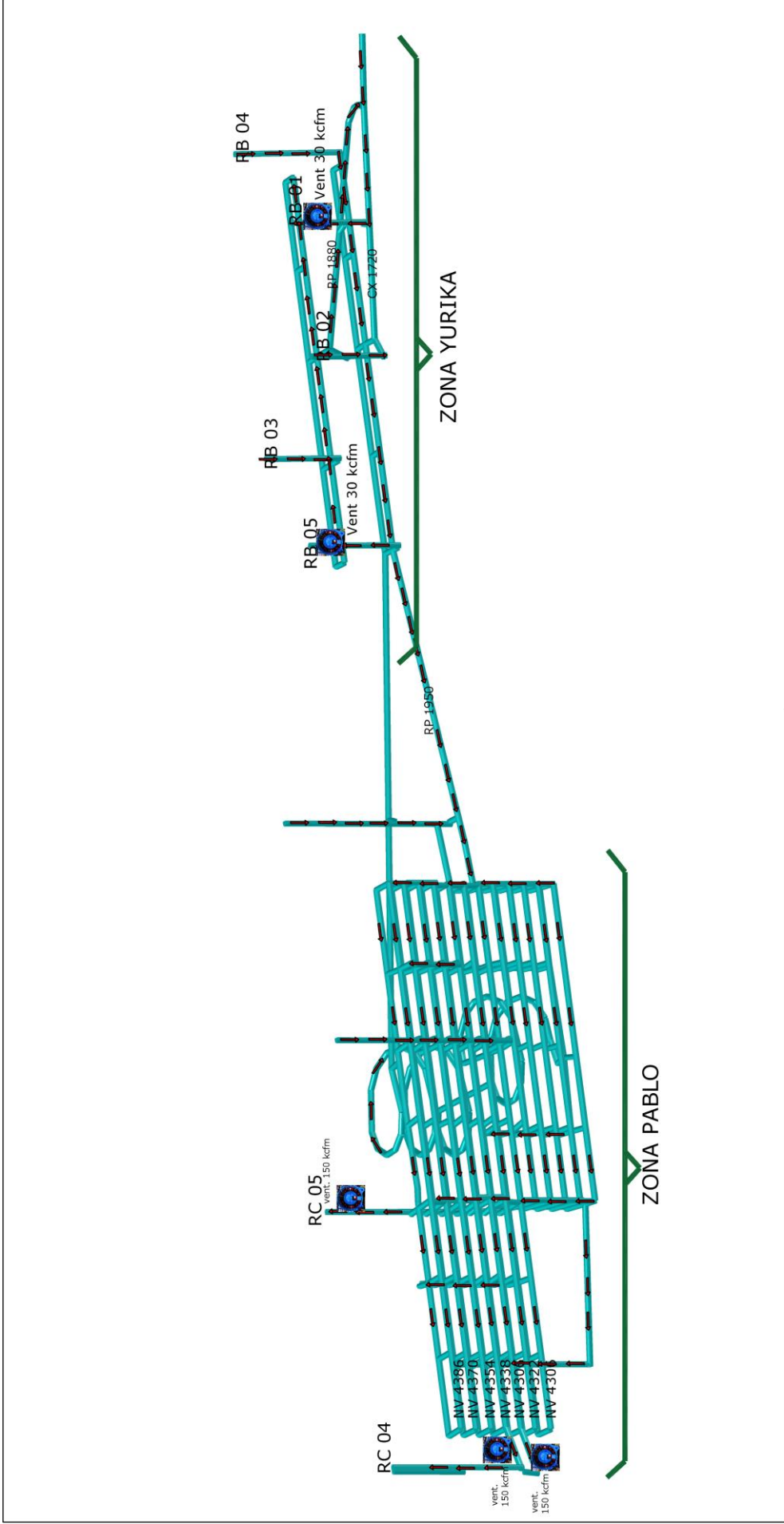


Ventilador



Dirección de flujo de aire

ANEXO – 5



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
Sistema de Ventilacion - Alternativa 4 - Zonas Pablo y Yurika	
Dibujado: Richard Mamani Condori	
Octubre -2019	Escala: Grafica

LEYENDA



Ventilador



Dirección de flujo de aire

ANEXO – 15

“ANEXO N° 15” DEL REGLAMENTO 023

LÍMITES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL PARA AGENTES QUÍMICOS*

1. TIPOS DE LÍMITES

TWA: Media Moderada en el Tiempo (Time Weighted Average). Para comparar con el promedio ponderado en el tiempo de exposición a concentraciones individuales durante toda la jornada de trabajo. Los límites TWA para 8 horas necesitan corrección al ser aplicados a jornadas de trabajo diferentes.

STEL: Exposición de Corta Duración: Short Time Exposure Level. Limita las exposiciones a corto tiempo, normalmente 15 minutos. Límite a comparar con la exposición promedio ponderada en el tiempo acumulada durante 15 minutos continuos. La exposición a concentraciones mayores no debe superar los 15 minutos y puede ocurrir un máximo de 4 veces por jornada con descansos de 1 hora mínimo entre exposiciones.

C: Ceiling. Nivel Techo de Exposición. Límite que en ningún momento deberá ser sobrepasado.

N°	Agentes Químicos (en el aire)	Límites de Exposición Ocupacional				
		TWA		STEL		Techo (C)
1	Acetona	500	ppm	750	ppm	
2	Ácido Acético	10	ppm	15	ppm	
3	Ácido Clorhídrico					2 ppm
4	Ácido Nítrico	2	ppm	4	ppm	
5	Acido Sulfhídrico (H ₂ S)	10	ppm	15	ppm	
6	Amoníaco Anhidro	25	ppm	35	ppm	
7	Anhídrido Sulfuroso (SO ₂)	2	ppm	5	ppm	
8	Antimonio	0.5	mg/m ³			
9	Arseniato de Plomo	0.15	mg/m ³			
10	Arseniato de Calcio	1	mg/m ³			
11	Arsénico (can)	0.01	mg/m ³ A1			
12	Benceno (can)	0.5	ppm (p)			
13	Cianuro (Como CN)					5 mg/m ³ (p)
14	Cianuro de Hidrogeno (HCN)					4.7 ppm(p)

15	Cloro	0.5	ppm	1	ppm		
16	Clorobenceno	10	ppm	20	ppm		
17	Cloroformo	10	ppm				
18	Cobre (humo)	0.2	mg/m ³				
19	Cobre (polvo/neblina)	1	mg/m ³				
20	Dióxido de Carbono	5000	ppm	30000	ppm		
21	Dióxido de Nitrógeno	3	ppm	5	ppm		
22	Éter Etílico	400	ppm	500	ppm		
23	Fluoruro de Hidrogeno (HF)					2.5	mg/m ³

ANEXO – 38

CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE AIRE

1. REQUERIMIENTO DE AIRE TOTAL (Q_{To}).

Cuando en la operación se utilice 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 fórmula siguiente:

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu}$$

Donde:

Q_{To} = Caudal total para la operación

Q_{T1} = La sumatoria de caudal requerido por: a) el número de trabajadores (Q_{Tr}), b) el consumo de madera (Q_{Ma}), c) temperatura en labores de trabajo (Q_{Te}) y d) equipos con motor petrolero (Q_{Eq})

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

A estos efectos, previamente debe determinarse lo siguiente:

a) Caudal requerido por el número de trabajadores (Q_{Tr})

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

Donde:

Q_{Tr} = Caudal total para “n” trabajadores ($\text{m}^3\text{/min}$);

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_{Ma})

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

Donde:

Q_{Ma} = Caudal requerido por toneladas de producción ($\text{m}^3\text{/min}$)

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

T = Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

FACTOR DE PRODUCCIÓN DE ACUERDO AL CONSUMO DE MADERA

CONSUMO DE MADERA (%)	FACTOR DE PRODUCCIÓN (m ³ /min)
< 20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 70	1.25

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

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

Donde:

Q_{Te} = Caudal por temperatura (m³/min);

V_m = Velocidad mínima;

A = Área de la labor promedio;

N = Número de niveles con temperatura mayor a 23°C, de acuerdo a escala

TEMPERATURA SECA (°C)	VELOCIDAD MÍNIMA (m/min)
< 24	0.00
24 a 29	30.00

establecida en el tercer párrafo del literal d) del artículo 252 del reglamento.

d) Caudal requerido por equipo con motor Petrolero (Q_{Eq})

$$Q_{Eq} = 3 \times HP \times D_m \times F_u \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Eq} = Volumen de aire necesario para la ventilación (m³/min);

HP = Capacidad efectiva de potencia (HPs);

D_m = Disponibilidad mecánica promedio de los equipos (%); F_u = Factor de utilización promedio de los equipos (%).

e) Caudal requerido por fugas (Q_{Fu})

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{t1} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

$$Q_{t1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma} + Q_{Eq}$$

2. REQUERIMIENTO DE AIRE TOTAL (Q_{To})-

Cuando en la operación no se utilicen equipos con motor petrolero:

Debe calcularse el caudal total para la operación conforme la fórmula que se detalla a continuación y luego compararla con el caudal por el consumo de explosivos. Luego de obtener cada uno de los valores se determina como Requerimiento de Aire Total el de mayor valor.

La demanda de aire al interior de la mina debe ser calculada de acuerdo al literal d) del artículo 252 del reglamento, considerando la fórmula siguiente:

$$Q_{To} = Q_{T1} + Q_{Fu}$$

Donde:

Q_{To} = Caudal total para la operación

Q_{T1} = La sumatoria de caudal requerido por: a) el número de trabajadores (Q_{Tr}), b) el consumo de madera (Q_{Ma}) y c) temperatura en labores de trabajo (Q_{Te})

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

A estos efectos, previamente debe determinarse lo siguiente:

a) Caudal requerido por el número de trabajadores (Q_{Tr})

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

Donde:

Q_{Tr} = Caudal total para “n” trabajadores (m^3/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_{Ma})

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

Donde:

Q_{Ma} = Caudal requerido por toneladas de producción (m^3/min)

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

T = Producción en toneladas métricas húmedas por guardia.

FACTOR DE PRODUCCIÓN DE ACUERDO AL CONSUMO DE MADERA	
CONSUMO DE MADERA (%)	FACTOR DE PRODUCCIÓN (m ³ /min)
< 20	0.00
20 a 40	0.60
41 a 70	1.00
> 71	1.25

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

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

Donde:

Q_{Te} = Caudal por temperatura (m³/min);

V_m = Velocidad mínima;

A = Área 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.

VELOCIDAD MÍNIMA	
TEMPERATURA SECA (°C)	VELOCIDAD MÍNIMA (m/min)
< 24	0.00
24 a 29	30.00

d) Caudal requerido por fugas (Q_{Fu})

$$Q_{Fu} = 15\% \times Q_{t1} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

$$Q_{t1} = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Ma}$$

e) Caudal requerido por consumo de explosivo (Q_{Ex})

Cuando en la operación no se utilicen equipos con motor petrolero, debe calcularse y tenerse en cuenta la necesidad de aire requerido por consumo de explosivos, conforme lo siguiente:

$$Q_{Ex} = A \times V \times N \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Donde:

Q_{Ex} = Caudal de aire requerido por consumo de explosivo detonado ($\text{m}^3\text{/min}$)

A = Área promedio de labores (m^2);

V = Velocidad mínima requerida según norma (m/min); N = Número de niveles en voladura.