UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

INFORME DE EXAMEN PROFESIONAL

"OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN MINERÍA SUBTERRÁNEA USANDO VENTSIM"

PRESENTADO POR:

Bach. Donna Arlette Kimberly Carpio Palomino

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA – PERÚ

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

INFORME DE EXAMEN PROFESIONAL

"OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN MINERÍA SUBTERRANEA USANDO VENTSIM"

Examen Profesional aprobado con Resolución de Comisión Organizadora N°505-2022-UNAM, de fecha 15 de julio de 2022.

ASESOR .....
MSc. Agapito Flores Justo

BACHILLER .....
Donna Arlette Kimberly Carpio Palomino

UNAM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
FEDATARIO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Folio N° 023

ACTA DE TITULACIÓN

I. Modalidad:

Examen Profesional

II. Documento de aprobación:

Resolución de Comisión Organizadora N°505 - 2022 - UNAM

Fecha: 15 - 07 - 2022

III. Título de Informe de Examen Profesional:

"OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN MINERÍA SUBTERRÁNEA USANDO VENTSIM"

Bachiller: Donna Arlette Kimberly, CARPIO PALOMINO

Asesor Principal: Msc. Agapito, FLORES JUSTO

Co-Asesor :

IV. Se dictamina con las siguientes notas:

Examen Escrito: 13 Entrevista: 1 Promedio: 14

Promedio en letras: Catorce por lo que: Sí [x] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 09:15 horas, del 06 de septiembre del año 2022 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado.

Dr. Marcos Luis, HUISPE PÉREZ
Presidente del comité de grados y títulos
de Examen Profesional
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Dr. Arquímedes León, VARGAS LUQUE
Director
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Donna A. K., CARPIO PALOMINO
Bachiller

Msc. Agapito, FLORES JUSTO
Asesor
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

DEDICATORIA

A Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A José y María, mis padres, por su amor incondicional, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y privilegio ser su hija, son los mejores padres.

A Joe, mi hermano, por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindó a lo largo de esta etapa de mi vida.

Finalmente, a Luis, mi esposo, quien, a través de sus consejos, de su amor y paciencia me ayudo a concluir esta meta.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presente.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Moquegua, a toda la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, a mis docentes en especial al Ing. Agapito Flores, mi asesor durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo y al Ing. Arquímedes Vargas quién con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hizo posible que pueda crecer día a día como profesional, gracias a ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

RESUMEN

El presente informe titulado: “Optimización del Sistema de ventilación en Minería Subterránea usando VENTSIM.”, cuyo objetivo fue Optimizar el sistema de ventilación en minería subterránea usando VENTSIM en la UEA Morococha de la Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C. La UEA Morococha tiene labores de exploración, preparación y producción, por lo que se utiliza ventilación natural, principales y secundarias. La ventilación de la mina tenía un caudal 100,1 Kcfm, siendo el principal problema que se tiene un 82% de caudal requerido de ventilación a lo cual nos prolonga el tiempo de ventilación para evacuar los gases de las voladuras y la necesidad de ventilación en las diferentes labores de la mina, que no estaban considerados adecuadamente en el sistema. Para el presente informe se realizó un levantamiento de ventilación y cálculos, para optimizar el sistema de ventilación en el cual nos determina el estado actual de la mina, lo primero que se hizo fue evaluar las condiciones operativas, luego se hizo el modelado en el Software VENTSIM, logrando optimizar el sistema de ventilación usando el VENTSIM en UEA Morococha, inicialmente el caudal de aire solo tenía una cobertura del 82%, a través de la optimización se logró incrementar el caudal de 100,1 Kcfm a 128 Kcfm dando una cobertura del 105%, también permitió determinar las modificaciones necesarias en la mina como instalación de un ventilador secundario, reubicación de ventiladores y hermetización de puertas.

Palabras clave: Optimizar, Sistema, Ventilación, VENTSIM

ABSTRACT

This report entitled: "Optimization of the Underground Mining Ventilation System using VENTSIM.", whose objective was to Optimize the underground mining ventilation system using VENTSIM in the Morococha UEA of the Austria Duvaz Mining Society S.A.C. UEA Morococha has exploration, preparation and production tasks, for which natural, main and secondary ventilation is used. The ventilation of the mine had a flow rate of 100.1 Kcfm, the main problem being that there is an 82% required ventilation flow rate, which prolongs the ventilation time to evacuate the gases from the blasting and the need for ventilation in the different tasks of the mine, which were not properly considered in the system. For the present report, a ventilation survey and calculations were carried out, to optimize the ventilation system in which the current state of the mine determines us, the first thing that was done was to evaluate the operating conditions, then the modeling was done in the Software VENTSIM, managing to optimize the ventilation system using the VENTSIM in UEA Morococha, initially the air flow only had a coverage of 82%, through optimization it was possible to increase the flow from 100.1 Kcfm to 128 Kcfm giving a coverage of 105%, also allowed to determine the necessary modifications in the mine such as installation of a secondary fan, relocation of fans and sealing of doors.

Keywords: Optimize, System, Ventilation, VENTSIM.

ÍNDICE

DEDICATORIA ..... **II**

AGRADECIMIENTO ..... **III**

RESUMEN ..... **IV**

ABSTRACT ..... **V**

ÍNDICE ..... **VI**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **VIII**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **IX**

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS ..... **X**

INTRODUCCIÓN **1**

1. CAPÍTULO I ASPECTO GENERALES **2**

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA. 2

1.1.1. Ubicación. *2*

1.1.2. Visión y Misión de la empresa. *3*

1.1.3. Accesibilidad. *4*

1.1.4. Historia. *4*

2. CAPÍTULO II DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD **6**

2.1. LÍNEA BASE DEL PROYECTO. 6

2.2. INFORMACIÓN DE VENTILACIÓN DE LA MINA. 9

2.3. CÁLCULO DEL REQUERIMIENTO DEL CAUDAL PARA LA MINA Y ANÁLISIS DEL BALANCE. 11

2.3.1. Requerimiento legal. *12*

2.3.2. Cálculo del caudal de ventilación. *13*

2.3.3. Análisis del balance del cálculo vs mina. *13*

2.4. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN CON VENTSIM. 14

2.4.1. Resumen de los valores iniciales con simulación VENTSIM. *17*

2.5. OPTIMIZACIÓN DE SISTEMA DE VENTILACIÓN. 20

2.5.1. Proyecto de mejora *20*

2.6. RESULTADOS 23

3. CAPÍTULO III ANTECEDENTES Y OBJETIVOS **25**

3.1. ANTECEDENTES 25

3.1.1. Antecedentes Internacionales.....25
3.1.2. Antecedentes Nacionales. 26
3.2. OBJETIVOS. 27
3.2.1. Objetivo General.....27
3.2.2. Objetivos Específicos. 27
4. CAPÍTULO IV DISCUSIONES Y APORTES 29
4.1. DISCUSIÓN.....29
5. CONCLUSIONES.....31
6. RECOMENDACIONES.....32
7. BIBLIOGRAFÍA.....33
8. ANEXOS 36
ANEXO A: *INVENTARIO DE VENTILADORES SECUNDARIOS.*.....36
ANEXO B: *INVENTARIO DE VENTILADORES AUXILIARES.* 36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas UTM WGS84 2

Tabla 2 Accesibilidad del proyecto 4

Tabla 3 Información de la mina 6

Tabla 4 Información de Recursos Humanos y Horarios 7

Tabla 5 Lista de ventiladores auxiliares. 8

Tabla 6 Lista de estaciones principales de ingreso. 9

Tabla 7 Lista de estaciones principales de salida 10

Tabla 8 Lista de estaciones secundarias. 11

Tabla 9 Requerimiento de aire. 13

Tabla 10 Fricción y Resistencia de las estaciones planificadas. 15

Tabla 11 Resumen del Sistema Inicial – VENTSIM 18

Tabla 12 Cálculo de Caída de Presión 19

Tabla 13 Lista de tapones y puertas instalados en la zona Sur. 21

Tabla 14 Lista de tapones y puertas instalados en la zona Norte. 22

Tabla 15 Resumen del Sistema Simulado y Optimizado en VENTSIM. 23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica de la UEA Morococha 3

Figura 2 Método de áreas iguales 8

Figura 3 Calculo requerido vs situación actual de mina 14

Figura 4 Calibración de VENTSIM vs Flujo de ingreso de Mina. 16

Figura 5 Calibración de VENTSIM vs Flujo de salida de Mina 17

Figura 6 Perdidas de flujo. 19

Figura 7 Sistema de ventilación a corto plazo. 20

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

CPM **:** Cubic feet per minute.
m **:** Metros.
msnm **:** Metros sobre el Nivel del Mar.
m3 **:** Metros cúbicos.
m3/min **:** Metros cúbicos por minuto
NVs **:** Niveles de la Mina**.**
UTM **:** Coordenadas Universales
SA **:** Sociedad Anónima.
SAC **:** Sociedad Anónima Cerrada.
TMD **:** Toneladas por día.
cfm **:** pies cúbicos por minuto.
USS **:** dólares americanos.
UEA : Unidad Económica Administrativa.
KW **:** Kilo Vatios.
CH **:** Chimenea.
K **:** Factor de Fricción.
E **:** Este.
N **:** Norte.
S **:** Sur.
O **:** Oeste.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Perú tiene una gran cantidad de minas subterráneas que se requiere obligatoriamente un sistema de ventilación para evacuar gases por voladura y equipos por la profundidad de las mismas, al no contar con un buen sistema de ventilación nos genera mayor uso de tiempo en las actividades de carguío, acarreo, sostenimiento y perforación por ende afectaría la producción diaria de la mina, los cuales son procesos cíclicos en toda mina subterránea, un buen sistema de ventilación da por resultados mayor eficiencia en las labores y reducir los tiempos de ventilación.

El contenido del presente informe se plantea en cuatro capítulos: En el capítulo I, se desarrollará la descripción de la empresa, ubicación y accesibilidad de la mina. En el capítulo II, se desarrollará la actividad específica línea base del proyecto, levantamiento de ventilación, calibración y modelado en el software VENTSIM con ello podremos optimizar el sistema de ventilación.

En el capítulo III, se describe los antecedentes nacionales e internacionales respecto a la actividad desarrollada, el objetivo general y específicos del presente informe; y en el capítulo IV, se realizará las discusiones aportes para finalmente brindar las conclusiones y recomendaciones del informe.

CAPÍTULO I

ASPECTO GENERALES

1.1. Descripción de la Empresa.

1.1.1. Ubicación.

Este proyecto de investigación se realizó en la UEA Morococha, propiedad de Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C, siendo su ubicación (Figura 1).

Distrito	: Morococha.
Provincia	: Yauli.
Región	: Junín.
Extensión	: 9393 m2
Altitud	: 4700 m.s.n.m

Las coordenadas de ubicación de la UEA Morococha son de UTM WGS84 según INGEMET Tabla 1

Tabla 1

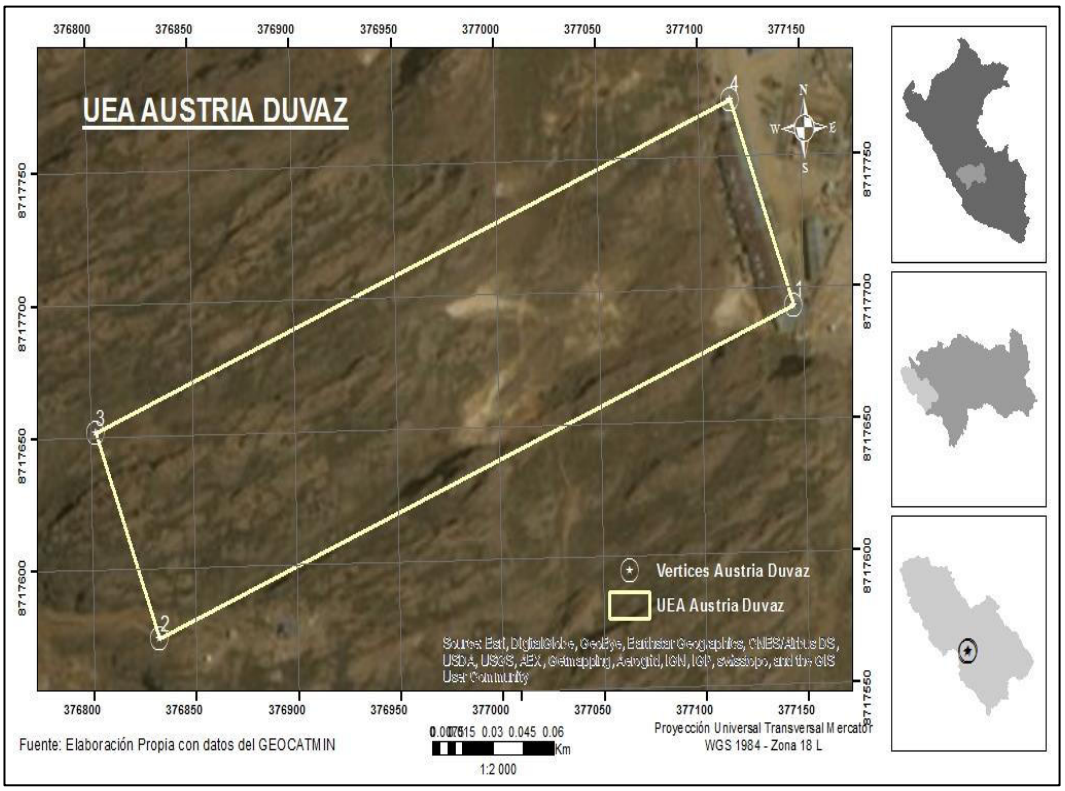
Coordenadas UTM WGS84

VÉRTICE	NORTE	ESTE
1	8717693,10	377145,71
2	8171573,29	376823,13
3	8171651,69	376802,17
4	8717771,50	377115,75

Nota. Recopilación de estudios geológicos (Ingemmet, 2010)**.**

Figura 1

Ubicación geográfica de la UEA Morococha



Nota. Elaboración propia con datos del GEOCATMIN e INGEMMET.

1.1.2. Visión y Misión de la empresa.

1.1.2.1. Misión

Somos una de las compañías mineras más antiguas del país, de origen peruano, que persigue la maximización de valor a sus accionistas y el bienestar de sus trabajadores a través de la excelencia operativa y la búsqueda de la calidad total en minería para lograr la armonía con el medio ambiente, las comunidades y la sociedad (Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C, 2022)

1.1.2.2. Visión

Ser una empresa minera diversificada en metales básicos y preciosos que genere valor y riqueza a través de un crecimiento basado en la exploración y desarrollo de proyectos maximizando el valor de sus accionistas a través de la excelencia operativa con los mayores estándares de seguridad y medio ambiente,

contribuyendo al desarrollo de su capital humano, de las comunidades y la sociedad (Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C, 2022).

1.1.3. Accesibilidad.

Los accesos para llegar a la mina se hacen a través de la Carretera Central del Perú, la cual se encuentra totalmente asfaltada y también por Ticlio, los detalles en Tabla 2.

Tabla 2

Accesibilidad del proyecto

ORIGEN	DESTINO	TIPO DE VÍA	TIEMPO(H)	DISTANCIA (KM)
Lima	Ticlio	Asfaltada	3	140 km
Ticlio	Mina	Asfaltada	0.25	8 km

Nota. Elaboración propia.

1.1.4. Historia.

Sociedad Minera AUSTRIA DUVAZ fue fundada el 14 de diciembre de 1906 por Don Lizandro Antonio Proaño Soto. El distrito minero de Morococha desde sus inicios tenía una riqueza minera excepcional que le permitía explotar mineral de alta ley de cobre que no necesitaba tratamiento en planta concentradora para producir concentrados. El mineral de alta ley era llevado a fundiciones aledañas que le permitían procesar el mineral para su posterior venta. En las primeras décadas del siglo XX empieza un proceso de desnacionalización de la minería peruana donde empresarios mineros peruanos venden su participación a la Cerro de Pasco Copper Corporation. Posteriormente en el año 1952 la Cerro de Pasco Copper Corporation logra tener una participación del 33 % en Sociedad Minera AUSTRIA DUVAZ. Esta misma participación fue comprada posteriormente por los herederos de Don Lizandro Proaño para consolidar la compañía nuevamente en manos de la familia. En 1977 se adquiere de Sociedad Minera Puquicocha una planta de beneficio de 300 Toneladas métricas por día (TMD) por un valor de USS 1.4M de dólares. Esto permitió a la empresa lograr producir concentrados de cobre, plomo y zinc para luego ser vendidos a la fundición de la Oroya. Paralelamente se desarrolla un exitoso programa de

exploraciones que permite incrementar la capacidad de la planta concentradora a 400 TMD en 1987 y hasta 600 TMD en 1997. En el año 2014 el incremento de los precios de los minerales permitió desarrollar un exitoso programa de perforaciones que incrementó las reservas. Las mayores reservas llevaron al desarrollo de una serie de inversiones en mina, planta y relavaras que permitieron incrementar la capacidad de la mina hasta las 1,000 TMD. Actualmente se está evaluando el desarrollo del proyecto Madam Elvira para ser puesto en operación a mediados del presente año 2017(Sociedad Minera Austria Duvaz S.A.C, 2022)

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

2.1. Línea base del proyecto.

Para realizar el levantamiento de ventilación se realizaron los siguientes pasos: Formación de la brigada de trabajo, asignación de responsabilidades y verificación de instrumentos – Calibración; Ubicación de las labores antiguas y operativas del minado, con ayuda de planos topográficos 2D; Ubicación de las estaciones de ventilación principales (entradas y salidas de aire); Levantamiento de las estaciones secundarias de cada nivel. Medición de velocidad del aire, temperatura de ambiente, sección de la labor, dirección de aire, presión barométrica, humedad relativa y concentración de gases (CO, CO2, O2, NO2 y CH4); Digitalización y determinación de caudales y velocidades promedios en cada estación de monitoreo; Determinación Balance y Cobertura de aire.

Este trabajo, se planificó considerando labores de campo y gabinete. Los trabajos de campo nos proporcionaron la información de la Mina (Tabla 3) y recursos humanos y horarios (Tabla 4).

Tabla 3

Información de la mina

INFORMACIÓN DE MINA	
Mineral Diario	1,500 TMS.
Mineral Mensual	45,000 TMS.
Sistema de explotación	Mecanizado por Trackless Convencional
Método de Explotación	Corte y Relleno Ascendente, Taladros Largos y Shirinkage.
Equipo de Limpieza	Scooptrams de 1.5 yd3,
Equipo de Transporte	Jaula (skip)

Número de equipos Diésel	10 Scoop
Total, Potencia equipos Diésel	698 HP
Perforación	Jack Leg.
Explosivo	Dinamita.
Velocidad mínima del aire	20 m/min.
Velocidad máxima del aire	250 m/min. (En zonas de tránsito de personal).
Altura promedio	4375 msnm
Temperatura seca	11 °C.
Temperatura húmeda	6 °C.
Presión barométrica promedio	606.8 kPa.
Humedad relativa	63 %.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4

Información de Recursos Humanos y Horarios

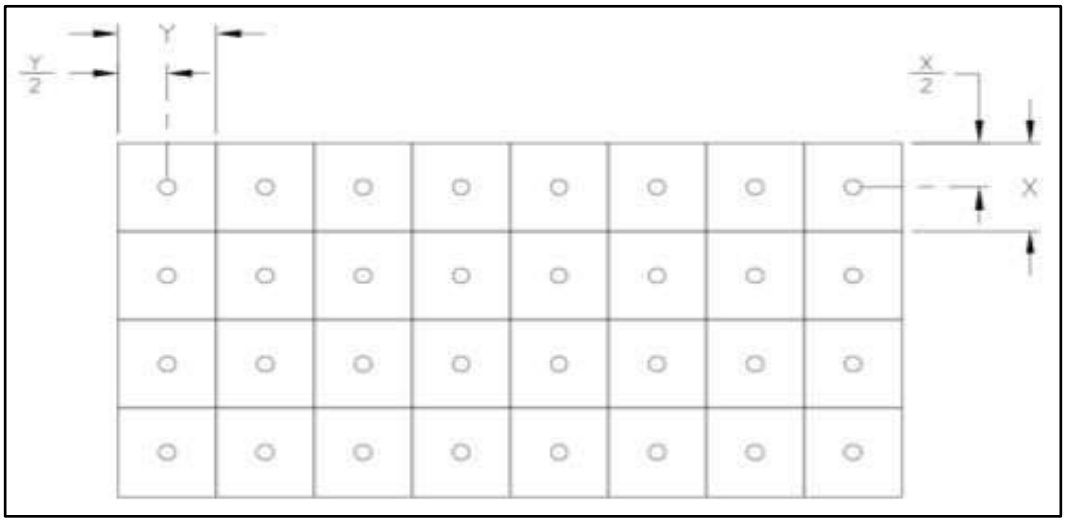
RECURSOS HUMANOS Y HORARIOS	
Número de guardias:	2/día
Personal por guardia:	227
Horario de trabajo Turno “A”:	7:00 am a 7:00 pm.
Horario de trabajo Turno “B”:	7:00 pm a 7:00 am.
Número de disparos:	2/día.
Voladura Turno “A”:	6:15 am a 8:15 am.
Voladura Turno “A”:	6:30 pm a 8:30 pm.

Nota. Elaboración propia.

Las mediciones de flujo de aire realizadas se basaron a la norma: “ASHRAE 111; Practices for measurement, testing, adjusting and balancing of building heating, ventilation, Air-conditioning and refrigeration Systems” usando el método de áreas iguales “Method of equal areas”, (Figura 2) Se basa principalmente en la aproximación del área transversal del túnel a un rectángulo para luego ser divido en áreas iguales y en su centro realizar las mediciones de velocidad que posteriormente se promediarán según las especificaciones de la norma, según Llacho y Vargas (2018)

Figura 2

Método de áreas iguales



Nota. Adaptado de Maguiña (2017).

Realizamos el seguimiento del inventario de equipos (Tabla 5), Mina cuenta con 06 ventiladores secundarios y 18 auxiliares con potencias de 350 HP y 640 HP respectivamente, para este presente trabajo se ha considerado el conteo de 630 trabajadores.

Tabla 5

Lista de ventiladores auxiliares.

ÍTEMS	CÓDIGO	MARCA	SILENCIADOR	TIPO	CAUDAL NOMINAL (cfm)	POTENCIA NOMINAL (HP)	PRESIÓN TOTAL (CA)	VOLTAJE (V)	RPM
1	1	**Tigre**	NO	**Auxiliar**	24000	30	103	440	1750
2	2	**Tigre**	SI	**Auxiliar**	24000	40	104	440	1750
3	3	**Tigre**	SI	**Auxiliar**	14 000	40	103	440	3550
4	4	**Tigre**	SI	**Auxiliar**	24000	30	124	440	1750
5	5	**Tigre**	NO	**Auxiliar**	24000	30	124	440	1750
6	6	**Tigre**	NO	**Auxiliar**	24000	30	145	440	3550
7	7	**VENT-08**	NO	**Auxiliar**	24000	30	145	440	1750
8	9	**Siemens**		**Auxiliar**	24000	30	145	440	3550
9	II	**Tigre**	NO	**Auxiliar**	8	20	123	440	1750
10	13	**Bresdel**	NO	**Auxiliar**	14000	30	85	440	3550
11	15	**Tigre**	NO	**Auxiliar**	14000	30	198	440	3550
12	16	**Airtec**	SI	**Auxiliar**	24000	40	182	440	1750
13	17	**Airtec**	NO	**Auxiliar**	14000	30	145	440	3550
14	19	**Tigre**		**Auxiliar**	8	20	85	440	3550
15	A 2	**Svintec**	NO	**Auxiliar**	24000	30	122	440	3550

16	A3	**Svintec**	NO	**Auxiliar**	24000	30	142	440	3550
17	A4	**Svintec**	NO	**Auxiliar**	24000	75	122	440	3550
18	A5	**Siemens**	NO	**Auxiliar**	34000	75	122	440	3550
19	8	**Siemens**	SI	**Secundario**	1 000	20	102	440	1750
20	10	**Siemens**	SI	**Secundario**	0	7S	182	440	3560
21	12	**Airtec**	SI	**Secundario**	3 000	7S	182	440	3560
22	14	**Tigre**	NO	**Secundario**	1 000	30	12.S	440	3550
23	18	**Airtec**	NO	**Secundario**	0	7S	18	440	1750
24	A I	**Svintec**	NO	**Secundario**	0	75	142	440	3550

Nota. Elaboración propia.

2.2. Información de ventilación de la mina.

Se realizó el levantamiento, calculando el aforo de caudales en la principal estación y en las secundarias, se realizó la verificación de la velocidad del aire, dirección de las labores, identificando las labores, logrando los flujos para el balance de aire, la operación cuenta con: 32 estaciones principales, donde 13 son de ingreso (Tabla 6) y 19 son de salida (Tabla 7), las estaciones secundarias son 331 puntos, siendo en total 363 estaciones para este proyecto.

Tabla 6

Lista de estaciones principales de ingreso.

ESTACIÓN	NIVEL	LABOR	ÁREA M2	M/S	M/MIN	M3/MIN	CFM
EVP-01	150	BM-01	176	141	85	149	5.259
EVP-02	150	BM-03	244	138	83	202	7.141
EVP-03	200	BM-01	375	045	27	101	3.551
EVP-04	200	CH-02	177	058	35	61	2.172
EVP-05	400		554	016	9	52	1.854
EVP-06	400	ex 648 SE	899	029	17	155	5.480
EVP-07	400	ex no SE	607	110	66	400	14.112
EVP-08	400	VES95 S	474	023	14	64	2.267
EVP-09	400	Cortada C. Reynaldo	789	228	137	1.079	38.093
EVP-10	400	Cortada 263 W	423	o.so	30	126	4.464
EVP-11	400	Cortada 263 W	401	208	125	499	17.638
EVP-12	400	Cortada 263 W	457	019	12	53	1.863

EVP-13	400	SN Madam Elvira	394	019	11	44	1.567

Nota. Elaboración propia.

Tabla 7

Lista de estaciones principales de salida

ESTACIÓN	NIVEL	LABOR	ÁREA M2	M/S	M/MIN	M3/MIN	CFM
EVP-01	200	CH 01-Victoria	1.33	0.85	51	67	2,378
EVP-02	150	CH-D	1.88	0.49	29.4	55	1,954
EVP-03	200	CH-E	1.54	0.88	52.8	81	2,867
EVP-04	1000	GA1.895E. CX-974_NW	3.60	0.62	37.2	135	4,755
EVP-05	1000	GA1.895E. CX-974_NW	3.60	0.59	35.4	128	4,505
EVP-06	1000	GA1.895E. CX-974_NW	3.60	0.53	31.8	115	4,060
EVP-07	1000	GA1.974E. CX-974_NW	3.60	0.18	10.8	38	1,348
EVP-08	1000	GAl.831 E.CX_830	3.60	0.34	20.4	73	2,577
EVP-09	1000	GAl.974E	3.60	0.32	19.2	70	2,466
EVP-10	1000	GAl.831E	3.60	0.92	55.2	198	6,988
EVP-11	1000	GAL.t:ME	5.04	0.53	31.8	159	5,631
EVP-12	1000	CX-575_S	3.60	0.32	19.2	69	2,441
EVP-13	1000	GALS14W	2.22	0.91	54.6	122	4,305
EVP-14	400	SN34SW, Madam Elvira	7.49	0.35	21	156	5,505
EVP-15	400	SN Madam Elvira	7.85	0.65	39	308	10,887
EVP-16	1000	CX-575_S,GAl.514W	3.60	0.60	36	129	4,560
EVP-17	1200	CX-331	4.94	0.65	39	193	6,801
EVP-18	1200	GAl.220 W	4.03	1.88	112.8	45	16,061

EVP-19	1600	GAl.632 W La Paz.	6.49	1.16	69.6	45	15,937

Nota. Elaboración propia.

Existe una diferencia entre los flujos de entrada y salida de aire. Ello se debe principalmente por la diferencia de temperatura y presión que experimenta el aire cuando ingresa y sale de la mina, afectando con ello su densidad.

Esta operación cuenta con 02 circuitos de ventilación, donde hay 331 estaciones de monitoreo, se da prioridad a las labores de producción, en las labores de mayor representatividad del flujo de aire se instalan las estaciones de monitoreo.

En la Tabla 8, se presenta la lista de los ventiladores secundarios.

Tabla 8

Lista de ventiladores secundarias.

ÍTEM	CÓDIGO	MARCA	UBICACIÓN ACTUAL	CAUDAL NOMINAL	POTENCIA NOMINAL HP	PRESIÓN TOTAL (CA)	VOLT. (V)	RPM
1	VENT-08	Siemens	Xc.963	10.000	20	102	440	1750
2	VENT-10	Siemens	Ga l.688	30.000	75	182	440	3560
3	VENT-12	Airtec	Ga l.028 W	30.000	75	182	440	3560
4	VENT-14	Tigre	Xc.591	10.000	30	125	440	3550
5	VENT-18	Airtec	Ga l.750	30.000	75	18	440	1750
6	VENT-19	Svintec	Ga l. 585 W	30.000	75	142	440	3550

Nota. Elaboración propia.

2.3. Cálculo del requerimiento del caudal para la mina y análisis del balance.

La cantidad de aire necesario para ventilar adecuadamente una mina se calcula en función de diferentes necesidades y parámetros establecidos, teniendo como objetivo: Satisfacer la necesidad vital mínima establecida, dando un cierto grado de confort a los trabajadores que laboran en interior mina; diluir y trasladar los gases, polvos, humos y calor producidos en las operaciones mineras; establecer las condiciones mínimas requeridas para el desarrollo de los equipos diésel dentro de la mina, lograr un ambiente térmico confortable, según Calderón (2022).

2.3.1. Requerimiento legal.

El presente informe se realizó en función del DS. N° 024-2016-EM, donde establece en el Artículo 247, 248, 252 y 254 Subcapítulo VIII lo siguiente:

Artículo 247: Requerimiento de aire para el personal.

Cuando las minas se encuentren hasta 1,500 metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo, la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de tres (03) metros cúbicos por minuto. En otras altitudes la cantidad de aire será de acuerdo con la siguiente escala:

De 1,500 a 3,000 metros aumentará en 40%; será igual a 4 m^3/min.

De 3,000 a 4,000 metros aumentará en 70%; será igual a 5 m^3/min.

Sobre los 4,000 metros aumentará en 100%; será igual a 6 m^3/min, según DS. N° 024-2016-EM (2016)

Artículo 252: Caudal requerido por el uso de equipos diésel.

Inciso e) Los requerimientos de aire para los equipos diésel deberá considerar la capacidad máxima de HPs, según DS. N° 024-2016-EM (2016)

Artículo 254: Caudal requerido por el uso de equipos diésel.

Inciso b) La cantidad de aire circulante no será menor de tres (3) m^3/min por cada HP que desarrollen los equipos; asegurándose que las emisiones de gases en sus escapes no superen las concentraciones indicadas en los literales d) y e) subsiguientes, según DS. N° 024-2016-EM (2016)

Artículo 248: Caudal requerido para dilución de explosivos.

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). El caudal de aire especificado en la norma para los equipos diésel, es el que se requiere para diluir los contaminantes que éstos emiten, de tal forma que el aire resultante pueda ser

respirado por las personas que trabajan en la mina, sin causar daño a la salud, según DS. N° 024-2016-EM (2016)

Artículo 252: Caudal requerido para mantener temperatura confortable.

Inciso d) Demanda de aire de la mina, teniendo en cuenta el número de trabajadores de la guardia más numerosa, la operación de los equipos diésel, los gases originados en las voladuras y la temperatura de las labores en trabajo. La demanda de la mina será la cantidad de aire requerida para los trabajadores y la cantidad mayor resultante de comparar el aire requerido para la operación y dilución de los gases de escape de los equipos diésel, el aire requerido para diluir los gases de las voladuras y el aire requerido para mantener una temperatura del ambiente de trabajo igual o menor a 29 °C, según DS. N° 024-2016-EM (2016)

2.3.2. Cálculo del caudal de ventilación.

Esto se determina a través del comparativo de caudal de 2 cálculos y seleccionando el de mayor necesidad, el primer cálculo es la suma del caudal de la Fuerza laboral y el siguiente es el de la dilución de gases por voladura. (Tabla 9).

Tabla 9

Requerimiento de aire.

REQUERIMIENTO DE AIRE	CFM
Fuerza Laboral + Equipos Diésel	122049
Dilución de Explosivos	66716

Nota. Elaboración propia.

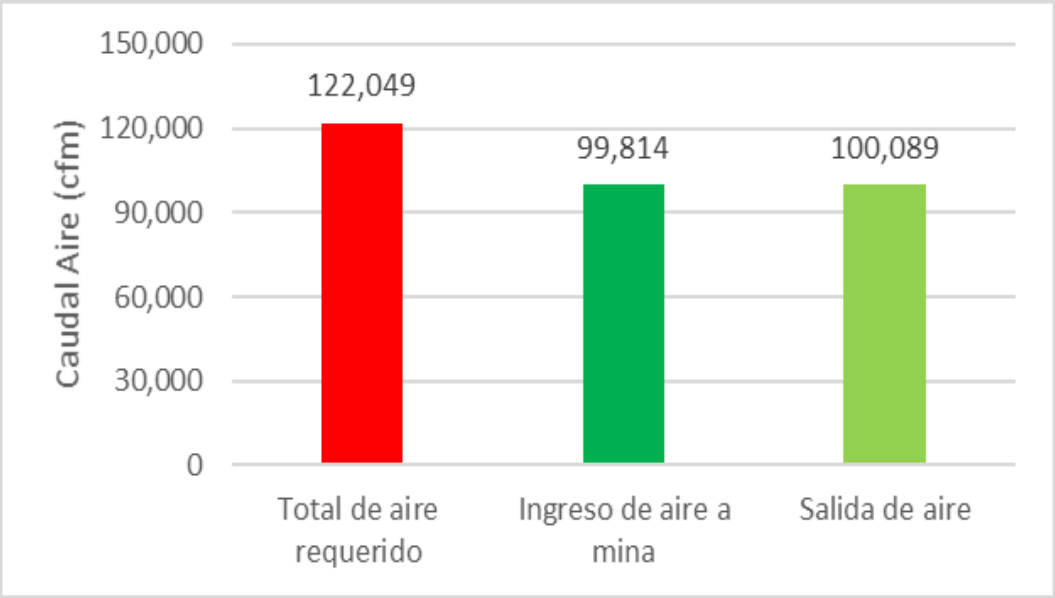
Se entiende que el caudal global requerido es de 122049 cfm. Que comprende el de fuerza laboral y equipos, ya que para dilución de explosivos es menor en comparación con los de vital importancia, razón por la cual no se considera como requerimiento.

2.3.3. Análisis del balance del cálculo vs mina.

Como se muestra en la Figura 3, el aire requerido es de 122,049 cfm, pero tanto el aire de ingreso y salida generan una cobertura de solo el 82%

Figura 3

Calculo requerido vs situación actual de mina



Nota. Elaboración propia.

2.4. Aplicación del Sistema de ventilación con VENTSIM.

Realizado el modelo, se realiza la comparación los datos simulados con los de campo a través de correlación, estos comparativos no deben sobrepasar el +-10%, para este cálculo se ingresa los valores de altitud, temperatura, fricción, presión, densidad costos de energía y otros, con el fin de lograr simulaciones y diseños a una realidad igual a la mina, siendo los registros parecidos al campo.

Para la mina Austria Duvaz, se ingresaron las condiciones operativas a VENTSIM (Input data).

- Altura de nivel de referencia en superficie: 4, 375 msnm.
- Densidad del aire: 0.77 kg/m3.
- Temperatura de bulbo húmedo: 06 °C.
- Temperatura de bulbo seco: 11 °C.
- Presión Barométrica en la superficie: 606.8 hPa.
- Método: Presión total.
- Flujo de aire: Compresible.
- Costo de energía: 0.07 US$/KW-hora.

El siguiente paso es determinar la fricción, relacionada por el calor, siendo ocasionado por superficies áspera, la fricción es directamente proporcional a la perdida de potencia.

Cada superficie, por naturaleza, sin importar su contextura suave o pulida, cuenta con diminutas descompresiones, bordes y porciones sobresalientes; por lo que, como resultado en el movimiento del aire, estas irregularidades ocasionan una oposición al flujo, es por ello que se calcula la fricción de las distintas estaciones planificadas (Tabla 10).

Tabla 10

Fricción y Resistencia de las estaciones planificadas.

ESTAC.	NIVEL	LABOR	ÁREA M2	PERÍMETRO M	LONG. M	VELOC. M/S	CAUDAL M3/S	"K" FRICCIÓN KG/M3	RESISTENCIA NS2/M8
EVS-02	1200	CX 668 S	4.92	8.39	26.8	0.5	2.45	0.0878	0.1661
EVS-10	1200	GAL 215 S	6.46	9.58	27.8	0.71	4.62	0.00475	0.0469
EVS-02	1400	CX 642N	4.25	7.76	51.2	1.16	4.94	0.0026	0.0135
EVS-06	1400	CX 635 S	5.53	8.85	21.6	1.72	9.54	0.0032	0.0036
EVS-11	1400	GAL 690 E	5.65	8.95	49.8	1.47	8.3	0.0039	0.0097
EVS-14	1400	CX 728 S	5.4	8.75	38.7	0.7	3.78	0.0108	0.0231
EVS-01	1450	RP 020	7.33	10.23	40.6	0.33	2.39	0.0549	0.0578
EVS-06	1450	CX 365 SW	5.38	8.74	47.6	0.74	3.96	0.0239	0.0639

Nota. Elaboración propia.

La mina tiene una alta rugosidad, y esta es debido a sus labores. La sección promedio de la mina es de 6.48 m3, siendo muy estrecho, ocasionando alta rugosidad, acompañado de los cuadros de madera que generan una resistencia, estos valores fueron ingresados a VENTSIM para la calibración del modelo.

El siguiente paso es realizar la calibración, el cual es realizar el comparativo a través de la variación del flujo calculado vs flujos simulados por VENTSIM, a través de la siguiente ecuación.

$$Variacion\ (\%) = \frac{\Sigma Flujos\ Campo - \Sigma Flujos\ Simulado}{\Sigma Flujos\ \ Campo} \times 100$$

Según la ecuación mostrada, esta variación debe estar por debajo de los +-10% e ideal en los valores menores a +-3%.

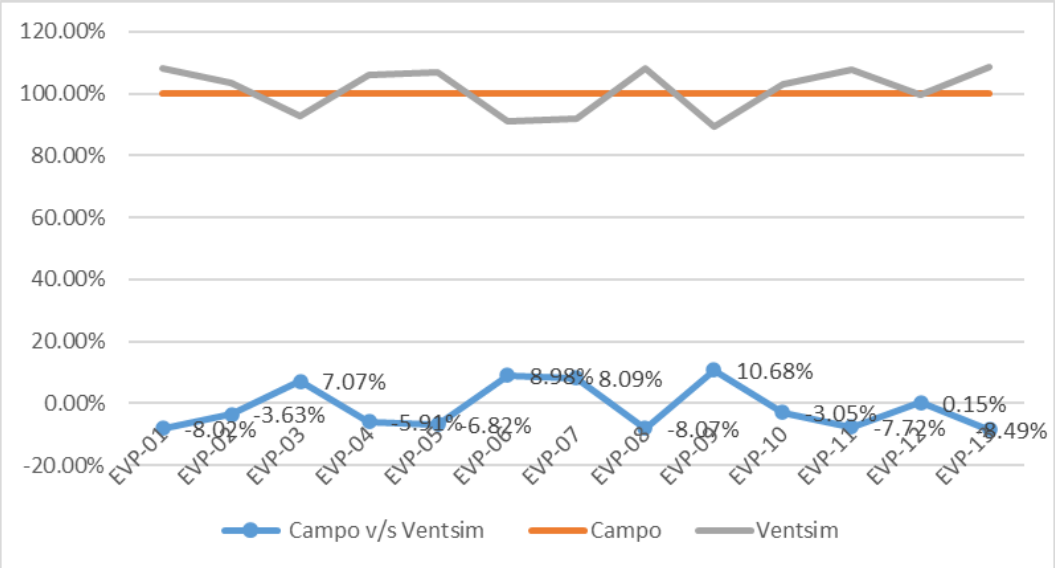
Para las estaciones principales; se realizaron cálculos, para determinar las diferencias entre el caudal real vs caudal simulado, presentándose la mayor variación en el ingreso del aire por Cortada Carlos Reynaldo (10.68 %) y en la salida del aire por el SN 345 W ingreso a Madame Elvira 8.64%.

La correlación promedio de mina Morococha es de 3.59% para ingreso de aire, y de 8% para el caudal de salida; por tanto, considerando el modelo confiable y con estos se pueden hacer cálculos de proyección de estimar los parámetros requeridos en los nuevos diseños de ventilación.

El primer paso es realizar la calibración de las simulaciones de VENTSIM vs Flujo de ingreso de mina medida (Figura 4).

Figura 4

Calibración de VENTSIM vs Flujo de ingreso de Mina

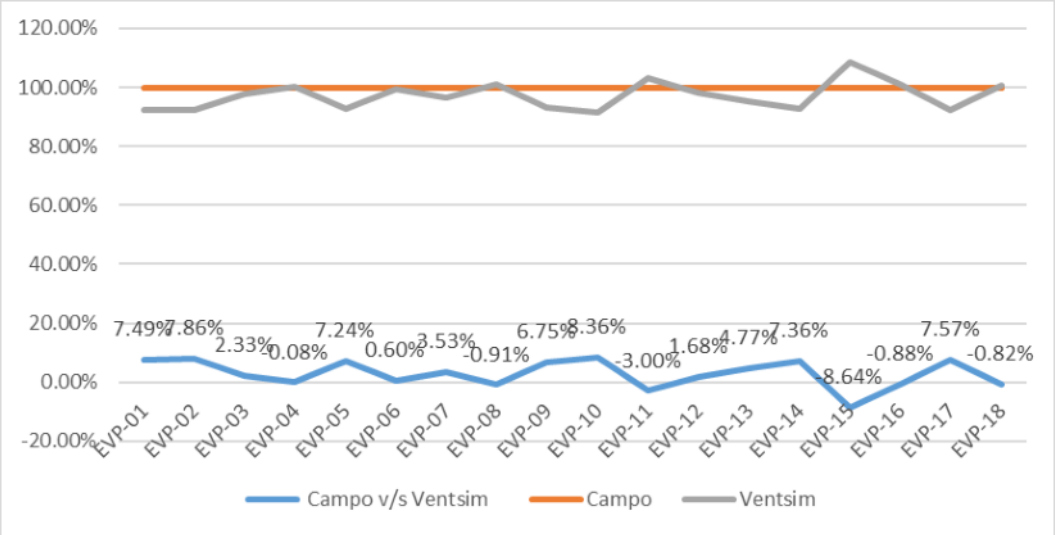


Nota. Elaboración propia.

El segundo paso es realizar la calibración de las simulaciones de VENTSIM vs Flujo de salida de mina medida (Figura 5).

Figura 5

Calibración de VENTSIM vs Flujo de salida de Mina



Nota. Elaboración propia.

2.4.1. Resumen de los valores iniciales con simulación VENTSIM.

Presentamos el resumen el estado actual, calculados con VENTSIM, según Tabla 11, donde tenemos los detalles de equilibrio de los caudales de ingreso y salida, datos de la mina, consumo y potencia,

Tabla 11

Resumen del Sistema Inicial – VENTSIM

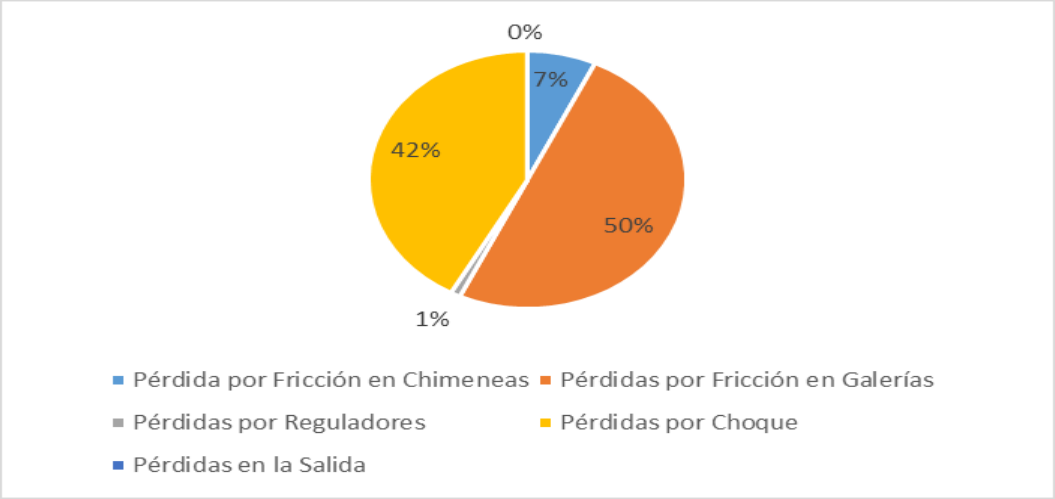
Datos de Mina	Flujo de aire compresible	Si
	La presión de ventilación natural	Si
	Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
	Etapa	O: Bapa 1
	Conductos de ventilación	11995 y 2 Exclusión
	Longitud total	134.621.7m
	Caudal de aire total de admisión	103.4 kcfm
	Caudal de aire total de escape	108.1kcfm
	Flujo de masa total	37.16 kg/s
	Resistencia de la mina (sin tubo)	0.39825 Ns./m8
	Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	3.26850 Ns./m8
Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	Total	406.6 kW Total
	Chimenea	16.0kW
	Conducir	33.6 kW
	Conductor de ventilación	357.1kW
	Refrigeración Potencia de entrada	0.0 kW
	Potencia eléctrica de ENTRADA	651.4 kW
	Costo de energía anual de la red	$ 399,423
	Eficiencia de la red	62.40%
	Que consta de:	
	22 ventiladores	651.4 kW
	Presiones fijadas O.O kW	0.0 kW
	Flujos fijados O.O kW	0.0 kW
	Refrigeración O.O kW	0.0 kW

Nota. Elaboración propia.

De las pérdidas de energía global, estas se dan en labores horizontales, representando el 50%, ya que las secciones de estas son estrechas con valores promedios de 6.48 m2, adicional a esto la mina es convencional, siendo menester realizar el control minucioso de la perforación y voladura para lograr superficies homogéneas, especialmente en las labores de desarrollo, las perdidas por choque representan el según valor más alto de perdida de flujo, siendo un 42%, estas pueden ser reducidas suavizando las intersecciones de labores horizontales con las chimeneas de ventilación.(Ver Figura 6).

Figura 6

Pérdidas de flujo.



Nota. Elaboración propia.

El 70% de aire ingresado es por ventilación natural, siendo su presión de 3.54 CA, con un caudal de 99,814 cfm (Tabla 12).

Tabla 12

Cálculo de Caída de Presión

CÁLCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN		
Caudal de ingreso de aire	99,814	cfm
	47.11	m3/s
Resistencia Total de la mina	0.39825	Ns2/m8

Presión de la mina	883.74	Pa
	3.54	CA.

Nota. Elaboración propia.

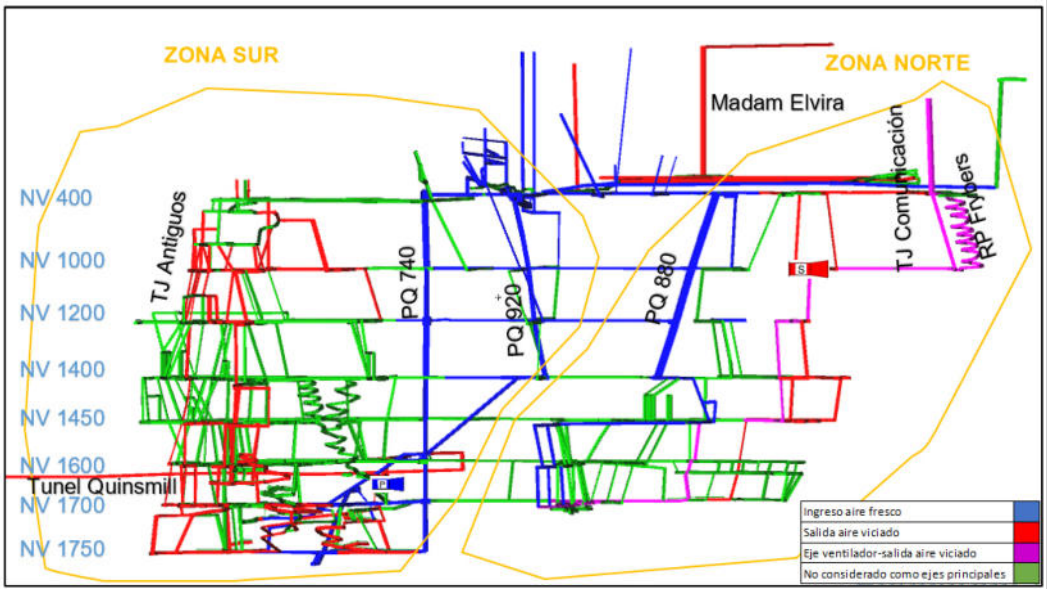
2.5. Optimización de Sistema de ventilación.

2.5.1. Proyecto de mejora

Este proyecto se dividió en dos partes, zona sur y norte, teniendo en cuenta que el circuito tendrá la forma de “W”, teniendo ejes como ingreso del aire la parte central de la mina con los Piques 740, 920 y 880; y como salidas, al Túnel Quinsmill (para Zona Sur) y labores existentes de mina como chimeneas, cruceros, tajos antiguos, etc. (para Zona Norte), ver Figura 7.

Figura 7

Sistema de ventilación a corto plazo



Nota. Recopilado del departamento de Mina.

Zona Sur

Comprende desde el Pique 920, Pique 740, Veta Melchorita, Veta la Paz y Veta Split Perú, en este caso, la ruta de ingreso de aire fresco comprende a las siguientes labores: Pique 920, que comunica el NV 400 al NV 1400, pasando luego por los inclinados 678 (NVs: 1400-1600), 670 (NVs: 1600-1700) y 750 (NVs: 1700-

1750), al Pique 740 que comunica del NV 400 hasta el NV 1750 (nivel más bajo de profundización).

También el circuito de salida de aire viciado incluye las labores: CH 562 (NVs: 1750-SN 586), GAL 586 E (NV 1700), CH (NVs: 1700-1650), CH 715 (NVs: 1650-1600), GAL 672 W (NV 1600) y GAL 632 W o Túnel Quinsmill (NV 1600) y CH 930 (NVs: 1750-1700), GAL 750 E (NV 1700), CH 420 (NVs: 1700-1600-1450-1400), CH 425 (NVs: 1400-1200), CH 470 (NVs: 1400-1200-1000), CH 365 (NVs: 750-500), CH 900 (NVs:500-400), Tajos antiguos (NVs: 400-Superficie).

Se instalaron tapones y puertas según Tabla 13. Para los ventiladores secundarios, se ha recomendó la reubicación y mantener su ubicación simulados por VENTSIM, siendo los siguientes:

Ventilador N° 08 de 10 Kcfm al pie de la CH, que está en la GAL 896 W (NV 1700). Se consigue aprovechar la CH como salida de aire viciado, se sugiere reubicarlo.

Para los demás se sugiere mantener su ubicación, pero mejorar en lo siguiente: Ventilador N° 10 de 30 Kcfm, en la cabeza de CH 026 (NV 1450), hermetizando su puerta, ventilador N° 12 de 30 Kcfm, en la GAL 028 W (NV 1200), mejorando la puerta de ventilación respectiva, ventilador N° 14 de 10 Kcfm, en la GAL 400 E (NV 1600), cabeza de la CH 560, hermetizando su puerta, ventilador N° 18 de 30 Kcfm, en la GAL 390 E (NV 1600), hermetizando su puerta. ventilador A-01 de 30 Kcfm, en la GAL 585 W (1700), hermetizando su puerta.

Tabla 13

Lista de tapones y puertas instalados en la zona Sur.

ÍTEMS	INSTALACIÓN	LABOR (NIVEL)	COORDENADA E	COORDENADA N	COORDENADA Z
1	Tapón 9	CX 085 (NV 14D00)	377,047.60	8,717,932.90	4,166.00
2	Tapón 10	GAL 632 W (NV 1650)	376,927.10	8,717,817.80	4,049.60
3	Tapón 11	GAL 632 W (NV 1600)	376,849.60	8,717,777.00	4,067.70
4	Tapón 12	GAL 415 NE (NV 1450)	377,430.70	8,717,846.70	4,116.00
5	Puerta 7	CX 728 S (NV 1400)	377,110.90	8,717,932.60	4,166.00
6	Puerta 8	CX 730 N (NV 1450)	377,031.70	8,717,919.90	4,116.00
7	Puerta 9	CX 773 NE (NV 1450)	377,058.70	8,717,896.10	4,067.70

8	Puerta 10	GAL 400 E (NV 1600)	377,547.10	8,717,901.30	4,067.70

Nota. Elaboración propia.

Zona Norte

Las áreas y labores que comprenden son el Pique 880, Veta Victoria, Veta San Pablo, Veta Piritosa y el sector Frybers.

Se toma como eje de ingreso de aire fresco, al Pique 880, orientándolo hasta el NV 1400 (pie del Pique 880) y partir de este por la GAL 642 W (NV 1400), CH 683 (NVs: 1400-1450), GAL 591 E (NV 1450), CX 591 (NV 1450), GAL 585 E (NV 1450), CH 450 (NVs: 1450-1600) y CH 600 (NVs: 1600-1700) y el eje de salida por CX 963 NW (NV 1700), CH 541 (NVs: 1700-1600-1450), GAL 594 (NV 1450), CH 608 (NVs: 1450-1400-1200), GAL 508 E (NV 1200), GAL 538 E (NV 1200), GAL 506 E (NV 1200), CH 608 (NVs: 1200-1000), GAL 514 E (NV 1000), CX 575 S (NV 1000), GAL 424 E (NV 1000), CH 535 (NVs: 1000-400), RP Zona Frybers (NVs: 1000-400) y Tajeos Superficie (NVs: 400-Superficie).

Se instalaron tapones y puertas según Tabla 14 donde se instalaron un ventilador secundario de 30 Kcfm, del stock de mina en galería 514 E (NV 1000) y coordenadas: 376,915.1 E; 8, 718,367.5 N; 4,292.3 Z.

Tabla 14

Lista de tapones y puertas instalados en la zona Norte.

ÍTEMS	INSTALACIÓN	LABOR (NIVEL)	COORDENADA E	COORDENADA N	COORDENADA Z
1	Tapón 1	CX 575 S (NV 1000)	376,873.10	8,718,307.90	4,292.30
2	Tapón 2	GAL 531 E (NV 1000)	376,895.60	8,718,337.50	4,292.30
3	Tapón 3	GAL 514 E (NV 1000)	376,922.10	8,718,373.30	4,292.30
4	Tapón 4	GAL 538 E (NV 1200)	376,896.80	8,718,319.10	4,231.70
5	Tapón 5	GAL 506 E (NV 1200)	376,882.90	8,718,345.90	4,231.70
6	Tapón 6	CX 688 N (NV 1400)	376,970.20	8,718,420.10	4,166.00
7	Tapón 7	GAL 642 E (NV 1400)	377,072.30	8,718,296.00	4,166.00
8	Tapón 8	GAL 620-1E (NV 1450)	377,109.20	8,718,281.40	4,116.00
9	Puerta 1	CX 575 S (NV 1000)	376,916.70	8,718,191.70	4,292.30
10	Puerta 2	CX 642 N (NV 1400)	376,968.40	8,718,132.90	4,166.00
11	Puerta 3	CX 570 (NV 1450)	376,872.40	8,717,959.20	4,116.00
12	Puerta 4	Cortada 625 N (NV 1600)	376,906.80	8,717,896.00	4,067.70
13	Puerta 5	RP 930 (NV 1650)	376,907.30	8,718,199.30	4,057.90
14	Puerta 6	Cortada 625 N (NV 1600)	376,954.60	8,717,935.70	4,021.60

Nota. Elaboración propia.

2.6. Resultados

En la Tabla 15 se muestra el resumen de estado del sistema a corto plazo, en él se observa el balance general de ingresos y salidas de la mina. El caudal de aire que ingresa al sistema es de 128.1 kcfm (3,627 m3/min); dando una cobertura de 105%. La potencia de entrada de energía eléctrica de los 21 ventiladores representa el 806.5 KW, y estarían generando un costo promedio de US$ 494,533/año.

Este proyecto permitió optimizar el sistema de ventilación usando el VENTSIM en UEA Morococha, inicialmente el caudal de ingreso solo tenía una cobertura del 82% siendo la demanda total de 122 Kcfm, a través de la optimización se logró incrementar el caudal de 103 Kcfm a 128 Kcfm dando una cobertura del 105%, también permitió determinar las modificaciones necesarias en la mina como instalación de un ventilador secundario, reubicación de ventiladores y hermetización de puertas.

Esta simulación permitió determinar si era necesario el movimiento de los ventiladores, para este caso se sugirió mover el ventilador N°8 en zona sur e instalación de un ventilador secundario de 30 cfm en zona norte.

Tabla 15

Resumen del Sistema Simulado y Optimizado en VENTSIM.

Datos de Mina	Flujo de aire compresible	Si
	La presión de ventilación natural	Si
	Tipo de simulación de la presión del ventilador	Método de la presión total
	Etapa	1 : Proyecto a corto Plazo
	Todos los Airways	13077
	Actual etapa conductos	11999 y 2 Exclusión.
	Longitud total	134928.2m
	Caudal de aire total de admisión	128.1 kcfm
	Caudal de aire total de escape	127.1kcfm
	Flujo de masa total	46.01kg/s

Potencia del AIRE (pérdida por fricción)	Resistencia de la mina (sin tubo)	0.26766 Ns•/m8
	Resistencia de la mina (Incluyendo el conducto)	1.95129 Ns•/m8
	Total	426.1 kW Total
	Chimenea	19.0kW
	Conducir	39.4 kW
	Conductor de ventilación	367.6.1kW
	Refrigeración Potencia de entrada	0.0 kW
	Potencia eléctrica de ENTRADA	806.5 kW
	Costo de energía anual de la red	$ 494533
	Eficiencia de la red	52.80%
	21 Ventiladores	802.8 kW
	O Presiones fijadas O.O kW	0.0 kW
	O Flujos Fijados O.O kW	0.0 kW
	O Refrigeración O.O kW	0.0 kW

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO III

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedentes Internacionales

En su investigación nos indica que, en las minas, generalmente no se ejerce un control debido sobre los sellamientos por lo que el aire circula por zonas que no requieren ser ventiladas, esto impacta negativamente ya que el aire no llega de forma adecuada a los frentes de explotación e imposibilita las condiciones de trabajo idóneas, por esta razón se pretende evaluar la influencia de los sellamientos en el comportamiento de la mina, para implementarlos y optimizar la ventilación. En el caso de estudio se concluyó que, si se utiliza una puerta de lona en mal estado, el caudal de aire que llega a los frentes de trabajo es de 0,2 m^3/seg; por otro lado, si se utiliza una puerta de lona en perfecto estado el caudal aumenta a 0,3 m^3/seg, también se evidencia que el aire que ingresa por tiro natural es muy pequeño por lo que se necesitaría llevar a cabo ventilación mecanizada. (Bustamante, et al., 2018).

Dada las características y deficiencias de la minería artesanal, es difícil aplicar las tecnologías de simulación en las faenas de extracción. En consecuencia, este cometido tuvo la finalidad de poner a disposición de este rubro una herramienta de simulación 3D (VENTSIM). Gracias a la representación del sistema de ventilación en gabinete se logró un incremento en el caudal total de 5%, concluyendo que se puede realizar una mejora en el campo, realizando un buen trabajo en la recolección de datos. (Rivera, 2020).

En su trabajo de investigación nos señala que, debido a que las herramientas de diseño de sistemas de simulación y ventilación han mejorado, es importante garantizar que los modelos desarrollados tengan la información más precisa posible; por lo cual presenta una nueva técnica para la estimación de los factores de fricción en túneles subterráneos, la cual se basa únicamente en los

datos recopilados mediante el uso de una plataforma de escaneo móvil de bajo costo. (Watson & Marshall, 2018).

Tan pronto como los yacimientos mineros se van acabando, las minas a cielo abierto se ven obligados a realizar la transición de minería superficial a subterránea, por otro lado, las minas subterráneas proyectan sus operaciones a mayores profundidades en busca del mineral, incrementando los costos de ventilación. El trabajo se basó en dejar de lado el ensayo y error que manejan las mineras en ventilación y dar paso a las nuevas tecnologías, con las cuales se representan distintas alternativas antes de que sean construidas. (Leiva, 2020).

Con la finalidad de aplicar un diseño en consonancia con las necesidades y requerimientos de las labores subterráneas, la investigación se basó en optimizar el circuito de ventilación. Por ende, una vez terminada la campaña de recolección de datos, empleando equipos portátiles, se utilizó el software VENTSIM, para modelar y plantear alternativas de solución. Técnicamente se concluyó que la compra de equipos a futuro permitirá tener una planificación óptima de las operaciones mineras, pretendiendo llegar del 80% al 90% de extracción de gases contaminantes. (Barrera, 2020).

3.1.2. Antecedentes Nacionales.

El proporcionar aire fresco y expeler aire viciado es importante en la minería subterránea, ya que mientras más se profundizan las operaciones, la ventilación se vuelve un problema. Siendo esta una necesidad, se empleó el software VENTSIM para realizar un modelamiento y dotar a la empresa de alternativas de solución para dicha cuestión. A merced de la simulación se encontraron 2 opciones de optimización, una a mediano y otra a largo plazo; logrando una cobertura del 109.3% y 108.2% respectivamente. (Gonzales, 2021).

La deficiencia en la extracción de aire viciado manifiesta un alto riesgo en la operación minera. Apoyado con los softwares *"VENTSIM Design 5.1 y Vuma-3D Network 2020"* se propuso el diseño de una chimenea integral de ventilación, y la colocación de un ventilador de 50000 cfm para cubrir el requerimiento de aire en la labor; logrando que el caudal de aire se incrementara en 40%, se redujera en 1 °C la temperatura general la mina y se ajustaran los costos de energía anual en un 23%. (Pierola, 2021).

A medida en que se profundiza en una mina, esta se hace más caliente. Dicho esto, se debe tener un especial cuidado en los sistemas de ventilación para lograr mantener un lugar de trabajo con las condiciones aceptables. Con el fin de acabar con la distribución inadecuada de aire en el yacimiento, se hizo uso del software VENTSIM (algoritmo Hardy-Cross); logrando un incremento de 156,359 cfm a 268,100 cfm en el ingreso de aire fresco y de 161,946 cfm a 273, 700 cfm en la salida de aire viciado para el primer año. (Maguiña, 2018).

La actividad minera es un componente importante en la economía peruana, en el presente un 38% de minas son subterráneas. Dado el tipo de operación, y teniendo en cuenta la influencia que tiene la ventilación en las labores de extracción de este tipo; en la investigación se hizo uso del software VENTSIM y Ansys fluent para diseñar un sistema de flujo de aire competente, consiguiendo una optimización gracias a un circuito de ventilación eficiente para una temperatura de 25.1°C. Además de lograr reducir el costo de energía de US$ 21, 561.6 a US$ 16,795.4 por año. (Gomez, 2022).

A medida que se profundizan y expanden las labores, la ventilación va tomando mayor importancia en las minas subterráneas, debido a la complejidad y a la escasez de ésta. Por este motivo el estudio se centró en mejorar el sistema de ventilación con ayuda del software VENTSIM TM Design 5.1. De las 4 alternativas que se presentaron, la segunda fue la opción óptima; logrando una cobertura del 104%, además de un caudal de recepción y escape de 495,521 cfm y 491,380 cfm respectivamente, siendo el requerimiento de aire 478,055 cfm. (Loayza, 2021).

3.2. Objetivos.

3.2.1. Objetivo General.

Optimizar el sistema de ventilación en minería subterránea usando VENTSIM en UEA Morococha

3.2.2. Objetivos Específicos.

- Evaluar las condiciones operativas actuales del sistema de ventilación en la UEA Morococha

- Modelar el sistema de ventilación en el Software VENTSIM, para determinar el tipo de circuito de este y su calibración.

CAPÍTULO IV

DISCUSIONES Y APORTES

4.1. Discusión

En este informe se muestra que se ha logrado optimizar el sistema de ventilación utilizando el software VENTSIM, dando una cobertura del 105%, siendo que es una necesidad buscar satisfacer la demanda total de 122,000 cfm en la UEA Morococha; estos resultados guardan relación con Loayza (2021), quien indica que a medida que se profundizan y expanden las labores, la ventilación va tomando mayor importancia, así mismo con ayuda del software VENTSIM TM Design 5, se centró en mejorar el sistema de ventilación; logrando una cobertura del 104%, además de un caudal de recepción y escape de 495,521 cfm y 491,380 cfm respectivamente, siendo el requerimiento de aire 478,055 cfm; también coincidiendo con Pierola (2021) que apoyado con los software "VENTSIM Design 5.1 y Vuma-3D Network 2020" logró un 40% de incremento en el caudal de aire y la reducción de 1°C en la temperatura general de la operación; igualmente Rivera (2020), haciendo uso del mismo software de simulación 3D logró un incremento en el caudal total de 5%, concluyendo que un buen trabajo de recolección de datos, puede ayudar en el planteamiento de una mejora en el sistema de ventilación.

Maguiña (2018) aplicó el algoritmo Hardy-Cross (Incluido en el software VENTSIM), logrando un incremento de 156,359 cfm a 268,100 cfm en el ingreso de aire fresco y de 161,946 cfm a 273,700 cfm en la salida de aire viciado para el primer año; asimismo Gomez (2022) diseñó un sistema de flujo de aire competente con el uso del software VENTSIM y Ansys fluent consiguiendo una optimización gracias a un circuito de ventilación eficiente; el resultado de ambos coincide con este informe, donde con la utilización del mismo software se logró incrementar el caudal de aire de 103,000 CFM a 128,000 cfm.

Barrera (2020) concluyó que la compra de equipos a futuro permitirá tener una planificación óptima de las operaciones mineras, pretendiendo llegar del 80% al 90% de extracción de gases contaminantes, Leiva (2020) ultimó que el uso de las nuevas tecnologías es una manera de cambiar la forma en que las empresas mineras manejan la ventilación (mediante ensayo y error), lo cual coincide con el presente informe; donde se resuelve, que el uso de las herramientas tecnológicas actuales permiten adelantarse y mostrar distintas alternativas de mejora antes de que éstas sean construidas.

CONCLUSIONES

Se ha logrado optimizar el sistema de ventilación usando el VENTSIM en UEA Morococha, inicialmente el caudal de aire solo tenía una cobertura del 82%, a través de la optimización se logró incrementar el caudal de 100,1 Kcfm a 128 Kcfm dando una cobertura del 105%, también permitió determinar las modificaciones necesarias en la mina como instalación de un ventilador secundario, reubicación de ventiladores y hermetización de puertas.

Se ha evaluado las condiciones operativas, los cuales son la información requerida para optimizar el sistema de ventilación, siendo ingresados al Software VENTSIM.

Se ha modelado el sistema de ventilación en el Software VENTSIM, los datos ingresados al modelo fueron confiables, nos permitió realizar proyecciones y determinar los parámetros requeridos en el nuevo diseño de ventilación de la mina.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar seguimiento y revisión semanal del sistema de ventilación por el área encargada del sistema.

Se recomienda realizar evaluaciones trimestrales del sistema de ventilación mediante el uso del software VENTSIM y realizar los ajustes necesarios.

Se recomienda coordinar con el área de operaciones mina para realizar los levantamientos del sistema de ventilación cuando sea necesario actualizar la información.

Se recomienda mantener los tapones y puertas abiertas o cerradas de acuerdo con el sistema de ventilación.

Se recomienda capacitar al personal involucrado sobre el uso correcto de los tapones y puertas y colocando la señalización adecuada para el funcionamiento óptimo de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

Barrera Mancero, P. H., & Pesántez Andrade, P. E. (2020). *Diseño y optimización del circuito de ventilación en el tramo norte-sur de la mina "Goldmins", Zaruma–El Oro* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).

http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9628

El, P., & De, L. A. (s/f). *Aprueban Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería DECRETO SUPREMO Nº 024-2016-EM*. Gob.pe. Recuperado el 5 de septiembre de 2022, de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/901782/DS-024-2016-EM.pdf

Fonttis Calderón, G. F. (2020). Estudio y diseño 3D del sistema de ventilación para su optimización actual y proyectada, caso estudio mina Inmaculada-HOCHSCHILD MINING.

http://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/173

Gomez De La Torre Hernandez, A. (2022). Sistema de ventilación para optimizar las operaciones en la integración de dos unidades de producción en una empresa minera La Libertad 2021.

https://hdl.handle.net/11537/30801

Gonzales Miranda, O. R. (2021). Evaluación y modelamiento del sistema de ventilación de la UM San Vicente–Bolivia con el software VENTSIM Design, año 2020.
http://hdl.handle.net/20.500.12894/7892

Ingemmet. (2010). *Resumen del derecho minero - Austria Duvaz*.

https://doi.org/10.1111/zoj.12047

Llacho Alhuirca, U. C., & Vargas Castro Cuba, A. D. (2020). Estudio del sistema de ventilación para el control de agentes químicos y físicos, UO Pallancata–veta Pablo–2018.

https://hdl.handle.net/20.500.12867/3417

Leiva Bustamante, B. A. (2020). *Sistema de ventilación para una mina caving mediante inteligencia artificial* (Doctoral dissertation, Universidad de Talca (Chile). Facultad de Ingeniería).

http://dspace.utalca.cl/handle/1950/12703

Loayza Huari, A. (2021). Optimización del sistema de ventilación a corto plazo en la Unidad Operativa Pallancata-Ayacucho.

http://hdl.handle.net/20.500.12918/6485

Maguiña Espirítu, J. A. (2018). Aplicación del software VENTSIM para el diseño y optimización proyectada del sistema de ventilación en la mina hércules de la compañía minera Lincuna SA–año 2017.

http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2898

Pierola Torres, R. (2021). Diseño y modelamiento con los softwares VENTSIM y Vuma-3D, para optimizar el circuito de ventilación en zona esperanza, UM San Juan de Arequipa.

http://hdl.handle.net/20.500.12773/12918

Portilla Salazar, R. E., & Velarde Macukachi, B. P. (2018). Propuesta técnica de mejora del sistema de ventilación principal de una operación minera subterránea polimetálica-2015.

http://hdl.handle.net/20.500.12404/11523

Rivera Abello, G. A. (2020). Análisis del circuito de ventilación mediante simulación con VENTSIM de una mina subterránea de carbón artesanal en la Provincia de Arauco, Región del Biobío.

http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/4630

Rua, M. O. B., Aragón, A. J. D., & Baena, P. B. (2018). Simulación en el software VENTSIM™ de la influencia de la implementación de sellamientos en labores abandonadas en la ventilación de una mina subterránea de carbón. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (43), 5-13.

https://doi.org/10.15446/rbct.n43.56128

Sociedad Minera Austria duvaz – SMAD. (s/f). *Austriaduvaz.pe.* Recuperado el 4 de septiembre de 2022.

https://austriaduvaz.pe/

VENTSIM. (2018). VENTSIM Visual™ - *Sofware de Simulación para Ventilación de Minas.* Recuperado el 1 de diciembre de 2018.

http://www.VENTSIM.com/es/productos/VENTSIM-visual/

Watson, C., & Marshall, J. (2018). Estimating underground mine ventilation friction factors from low density 3D data acquired by a moving LiDAR. *International Journal of Mining Science and Technology*, *28*(4), 657-662.

https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.03.009

ANEXOS

Anexo A: *Inventario de Ventiladores Secundarios.*

INVENTARIO DE VENTILADORES SECUNDARIOS - ABRIL 2017																		
Item	Código	Marca	Propiedad	Nivel	Silenciador	Ubicación Actual	Tipo	Posición	Estado	Caudal Nom. (cfm)	Pot. Nom. (HP)	Pesión Total (CA)	Volt. (V)	RPM	Costo Unit. ($/KW-h)	Costo Horario ($/h)	Costo/dia ($/dia)	Costo/mes ($/mes)	Costo/año ($/año)
1	VENT-08	Siemens	Compañía	1700	SI TIENE	Xc.963	Secundario	Extractor	Operativo	10,000	20	10.2	440	1750	0.07	1.06	26	766	9,193
2	VENT-10	Siemens	Compañía	1450	SI TIENE	Gal.688	Secundario	Extractor	Operativo	30,000	75	18.2	440	3560	0.07	3.99	96	2,873	34,474
3	VENT-12	Airtec	Compañía	1200	SI TIENE	Gal.028 W	Secundario	Extractor	Operativo	30,000	75	18.2	440	3560	0.07	3.99	96	2,873	34,474
4	VENT-14	Tigre	Compañía	1600	NO TIENE	Xc.591	Secundario	Extractor	Operativo	10,000	30	12.5	440	3550	0.07	1.60	38	1,149	13,789
5	VENT-18	Airtec	Compañía	1600	NO TIENE	Gal.750	Secundario	Extractor	Operativo	30,000	75	18	440	1750	0.07	3.99	96	2,873	34,474
6	VENT-A1	Svintec	Svintec	1700	NO TIENE	Gal. 585 W	Secundario	Extractor	Operativo	30,000	75	14.2	440	3550	0.07	3.99	96	2,873	34,474
TOTAL										140,000	350							13,406	160,877

Nota. Elaboración propia.

Anexo B: *Inventario de Ventiladores Auxiliares.*

INVENTARIO DE VENTILADORES AUXILIARES - ABRIL 2017																			
Item	Código	Marca	Propiedad	Nivel	Silenciador	Ubicación Actual	Tipo	Posición	Estado	Caudal Nom. (cfm)	Pot. Nom. (HP)	Pesión Total (CA)	VOLT.(V)	RPM	Costo Unit. ($/KW-h)	Costo Horario ($/h)	Costo/dia ($/dia)	Costo/mes ($/mes)	Costo/año ($/año)
1	VENT-01	Tigre	Compañía	1600	NO TIENE	Gal.024	Auxiliar	Inyector	Operativo	20,000	30	10.3	440	1750	0.07	1.60	38	1,149	13,789
2	VENT-02	Tigre	Compañía	1750	SI TIENE	Gal. 760 E	Auxiliar	Inyector	Operativo	20,000	40	10.4	440	1750	0.07	2.13	51	1,532	18,386
3	VENT-03	Tigre	Compañía	1750	SI TINE	Bp.560 W	Auxiliar	Inyector	Operativo	10,000	40	10.3	440	3550	0.07	2.13	51	1,532	18,386
4	VENT-04	Tigre	Compañía	1700	SI TIENE	Rp. 248	Auxiliar	Inyector	Operativo	20,000	30	12.4	440	1750	0.07	1.60	38	1,149	13,789
5	VENT-05	Tigre	Compañía	1700	NO TIENE	Rp. 248	Auxiliar	Inyector	Operativo	20,000	30	12.4	440	1750	0.07	1.60	38	1,149	13,789
6	VENT-06	Tigre	Compañía	1700	NO TIENE	Gal.930	Auxiliar	Inyector	Operativo	20,000	30	14.5	440	3550	0.07	1.60	38	1,149	13,789
7	VENT-09	Siemens	Compañía	1200		Gal. 932 W	Auxiliar	Inyector	Operativo	20,000	30	14.5	440	3550	0.07	1.60	38	1,149	13,789
8	VENT-11	Tigre	Compañía	1700	NO TIENE	Gal. 750 CH. 761	Auxiliar	Inyector	Operativo	8,000	20	12.3	440	3550	0.07	1.06	26	766	9,193
9	VENT-13	Bresdel	Compañía	1200	NO TIENE	Gal. 932 E	Auxiliar	Inyector	Operativo	10,000	30	8.5	440	1750	0.07	1.60	38	1,149	13,789
10	VENT-15	Tigre	Compañía	1600	NO TIENE	Gal. 400	Auxiliar	Inyector	Operativo	10,000	30	19.8	440	3550	0.07	1.60	38	1,149	13,789
11	VENT-16	Airtec	Compañía	1750	SI TIENE	Xc.750 N	Auxiliar	Inyector	Operativo	20,000	40	18.2	440	3550	0.07	2.13	51	1,532	18,386
12	VENT-17	Airtec	Compañía	1750	NO TIENE	XC.750 S	Auxiliar	Inyector	Operativo	10,000	30	14.5	440	3560	0.07	1.60	38	1,149	13,789
13	VENT - 19	Tigre	Compañía	1700		Gal.410	Auxiliar	Inyector	Operativo	8,000	20	8.5	440	3560	0.07	1.06	26	766	9,193
14	VENT-A2	Svintec	Svintec	1700	NO TIENE	Gal. 585	Auxiliar	Inyector	Operativo	20,000	30	12.2	440	3550	0.07	1.60	38	1,149	13,789
15	VENT-A3	Svintec	Svintec		NO TIENE					20,000	30	14.2	440	3550					
16	VENT-A4	Svintec	Svintec	1600	NO TIENE	Gal.024	Auxiliar	Inyector	Operativo	20,000	75	12.2	440	3550	0.07	3.99	96	2,873	34,474
17	VENT-A5	Siemens	Svintec	400	NO TIENE	Xc.430	Auxiliar	Inyector	Operativo	30,000	75	12.2	440	3550	0.07	3.99	96	96	1,149
TOTAL										286,000	610							19,439	233,271

Nota. Elaboración propia.

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Donna Arlette Kimberly Carpio Palomino
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 71248647
Correo electrónico : donna.carpio.p@gmail.com
Teléfono/Celular : 952179031

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado ( )
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía (X)
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis ( )
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico (**X**)

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : "OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN EN MINERÍA SUBTERRÁNEA USANDO VENTSIM"
b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : 2.07.05
c) Fecha de publicación : 2022

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Agapito Flores Justo
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 00479949
c) ORCID : 0000-0002-6054-9471

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71248647
NOMBRES Y APELLIDOS : Donna Arlette Kimberly Carpio Palomino

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71248647

NOMBRES Y APELLIDOS : Donna Arlette Kimberly Carpio Palomino

FECHA : 2022

