



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

**Cálculo de los parámetros de diseño de un ventilador
axial principal para la mina Manuelita de la compañía
minera Argentum en el departamento de Junín**

INFORME PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Kevin Brain OSTOS JULCA

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Ostos, K. (2022). *Cálculo de los parámetros de diseño de un ventilador axial principal para la mina Manuelita de la compañía minera Argentum en el departamento de Junín*. [Informe profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	KEVIN BRAIN OSTOS JULCA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	48006911
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-1135-9874
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número de documento de identidad	
URL de ORCID	
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	MIGUEL ANGEL ORMEÑO VALERIANO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06532600
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	DE LA TORRE OSTOS JUAN MIGUEL
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09634918
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	MARIO ALBERTO GARCIA PEREZ
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07930910
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	
Tipo de documento	DNI

Número de documento de identidad	
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.2.5.1. Energética A.2.5.2. Recursos Hídricos
Grupo de investigación	
Agencia de financiamiento	PROPIA
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Junín Provincia: Yauli Distrito: Morococha Latitud: 11°36' SUR Longitud: 76°10' OESTE
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2021-2022
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería mecánica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
(Universidad del PERÚ, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS

**ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DEL INFORME PROFESIONAL PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS, MODALIDAD DE
TITULACIÓN M-4 - POR EXPERIENCIA PROFESIONAL**

Siendo las 11:00 a.m. del día miércoles 28 de diciembre de 2022, en la Sala de Sesión Virtual de la Facultad de Ciencias Físicas, bajo la presidencia del Dr. Ing. MIGUEL ANGEL ORMEÑO VALERIANO y con la asistencia de los miembros Mg. Ing. MARIO ALBERTO GARCÍA PÉREZ y el Mg. Ing. JUAN MIGUEL DE LA TORRE OSTOS, se dio inicio a la Sesión Pública Virtual de Sustentación del Informe Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, mediante la Modalidad de Titulación M-4 Por Experiencia Profesional, del Bachiller:

KEVIN BRAIN OSTOS JULCA

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente, e invitó al Bachiller KEVIN BRAIN OSTOS JULCA, a realizar la Exposición del Informe Profesional titulado “CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UN VENTILADOR AXIAL PRINCIPAL PARA LA MINA MANUELITA DE LA COMPAÑÍA MINERA ARGENTUM EN EL DEPARTAMENTO DE JUNÍN”.

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida por el Bachiller, la misma que fue:

Catorce 14

El Presidente del Jurado Dr. Ing. MIGUEL ANGEL ORMEÑO VALERIANO, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller KEVIN BRAIN OSTOS JULCA Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las **12:12** a.m. del mismo día, se levantó la sesión.

Dr. Ing. MIGUEL ANGEL ORMEÑO VALERIANO
PRESIDENTE DEL JURADO

Mg. Ing. MARIO ALBERTO GARCÍA PÉREZ
MIEMBRO DEL JURADO

Mg. Ing. JUAN MIGUEL DE LA TORRE OSTOS
MIEMBRO DEL JURADO



UNMSM

Firmado digitalmente por LOZANO
BARTRA Whualkuer Enrique FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.12.2022 15:01:02 -05:00

DR. WHUALKUER ENRIQUE LOZANO BARTRA
VICEDECANO ACADÉMICO FCF

Datos de la plataforma virtual institucional del acto de sustentación:

<https://us06web.zoom.us/j/86418933408?pwd=NnAyM1JpRGZWRzRHQTlabFMzU1Nxdz09>

ID de reunión: 864 1893 3408

Código de acceso: 248370

Grabación archivada en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1eYBmKCQRhtv9cNVKeN1P-_o-0Wf5Jhan/view?usp=share_link

Anexo 1

Informe de evaluación de Originalidad

1. Facultad de Ciencias Físicas
2. Escuela/Unidad de Posgrado
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos
3. Autoridad Académica que emite el informe de originalidad
El Director de la EPIMF
4. Apellidos y nombres de la autoridad académica
Sarango Julca Douglas Donal
5. Operador del programa Informático de similitudes
Dr. Ing. Douglas Sarango Julca
6. Documento evaluado (1)
"CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UN VENTILADOR AXIAL PRINCIPAL PARA LA MINA MANUELITA DE LA COMPAÑÍA MINERA ARGENTUM EN EL DEPARTAMENTO DE JUNÍN"
7. Autor del documento (2)
KEVIN BRAIN OSTOS JULCA
8. Fecha de recepción del documento 21/12/22
9. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes 22/12/22
10. Software utilizado
 - Turnitin (X)
 - Ithenticate
 - Otro (especificar)
11. Configuración del programa detector de similitudes
 - Excluye textos entrecomillados
 - Incluye Bibliografía
 - Excluye cadenas menores a 40 palabras
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes³
10%
13. Fuentes originales de las similitudes encontradas⁴
14. Observaciones
Ninguna
15. Calificación de originalidad
 - Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones (X)
 - Documento cumple criterios de originalidad, con observaciones
 - Documento no cumple criterios de originalidad
16. Fecha del Informe 31 /12 /22



Firmado digitalmente por SARANGO
JULCA Douglas Donal FAU
20148092282.sott
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02.01.2023 17:05:23 -05:00

DR. ING. Douglas Sarango Julca
DIRECTOR (e) DE LA EPIMF

-
- 1 Otro (especificar) Informe Profesional Modalidad de Titulación M-4
 - 2 Apellidos y Nombres completos
 - 3 En letras y números
 - 4 Indicarlas en orden decreciente y su respectivo porcentaje

Resumen

El presente trabajo consiste en calcular los parámetros de diseño de un ventilador axial principal en la mina Manuelita, la cual pertenece a la compañía Minera Argentum. Los objetivos que se plantearon son los siguientes: calcular los parámetros de diseño para un ventilador axial principal para la unidad minera, determinar la cantidad de caudal necesario para extraer de la mina, la cual tiene que cumplir con las normas peruanas establecidas en el D.S.024-2016-EM y su modificatoria D.S.023-2017-EM, calcular presión que necesita el ventilador para extraer el aire de la unidad minera, así como la potencia del ventilador axial.

La metodología empleada para cumplir con los objetivos son las de determinar el caudal de diseño para extraer el aire viciado de la mina, presión total del ventilador axial, además de la potencia del ventilador axial.

Los resultados obtenidos para los parámetros de diseño del ventilador axial para la mina son los siguientes: caudal $Q_r= 190844.56$ CFM, presión total $\Delta p_T= 12.85$ InH₂O y potencia BHP=402.4 kW. Finalmente, como conclusión se logró calcular los parámetros de diseño del ventilador axial principal, así como la presión, caudal como potencia, y también se determinó usar un caudal de contingencia adicional al caudal requerido por la mina.

Palabras clave: *Mina, ventilador, caudal, presión, potencia.*

Abstract

The present work consists in calculating the design parameters of an axial fan in the Manuelita mine, which belongs to the company Minera Argentum. The objectives raised are the following: calculate the design parameters for a fan main axial for the mining unit, determine the amount of flow necessary to extract of the mine, which has to comply with the Peruvian regulations established in D.S.024-2016-EM and its amendment D.S.023-2017-EM, calculate the pressure needed by the ventilator to extract the air from the mining unit, as well as the power of the axial fan.

The methodology used to meet the objectives is to determine the flow of design to extract stale air from the mine, full pressure of the axial fan, in addition to the axial fan power.

The results obtained for the design parameters of the axial fan for the Mine are the following: flow $Q_r = 190844.56$ CFM, total pressure $\Delta p_T = 12.85$ InH₂O and power BHP = 402.4 kW.

Finally, as a conclusion, it was possible to calculate the design parameters of the axial fan main, as well as pressure, flow as power, and it was also determined to use a flow additional contingency to the flow required by the mine.

Key words: *Mine, fan, flow, pressure, power.*

Contenido

I INTRODUCCIÓN	7
II INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD	11
2.1. Institución donde se desarrolló la actividad	11
2.2. Periodo de duración de la actividad	11
2.3. Finalidad y objetivo de la entidad	11
2.4. Razón social	12
2.5. Dirección Postal	12
2.6 Dirección de correo electrónico del profesional a cargo	12
III DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	13
3.1. Organización de la actividad	13
3.2. Finalidad y objetivos de la actividad	14
3.2.1 Objetivo Principal.....	14
3.2.2. Objetivos Específicos	15
3.3. Problemática	15
3.4. Metodología.....	16
3.5. Procedimientos	16
3.5.1 Fuentes de información.....	16
3.5.2 Unidad de observación.....	16
3.5.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.5.4 Procedimiento de recolección de datos	17
3.6. Resultados de la actividad	18
3.6.1. Sustento teórico.....	18
3.6.2. Cálculo de Parámetros del Ventilador Axial.....	39
3.6.2.1 Datos del proyecto	39
3.6.2.2 Cálculo de caudal.....	41
3.6.3 Cálculo de caída de presión	48
3.6.4. Cálculo de la Potencia del ventilador	459
3.6.5. Selección del ventilador4	49
3.6.6 Resultados.....	51
IV CONCLUSIONES	52
V BIBLIOGRAFÍA	53
VII ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Requerimiento de Aire en mina Manuelita en el Año 2017.....	7
Tabla 2	Incremento de Equipos en el Año 2019	8
Tabla 3	Distribución de los Talleres del Área de Mantenimiento en Toda la Compañía Minera Argentum	7
Tabla 4	Rango de Presiones Estáticas en Ventiladores.....	10
Tabla 5	Tabla de Equivalencias de Presiones Atmosféricas	16
Tabla 6	Requerimiento de Caudal con Respecto a la Altitud de las Minas.....	22
Tabla 7	Velocidad Mínima	23
Tabla 8	Consideraciones del Proyecto	30
Tabla 9	Equipos a Diésel.....	31
Tabla 10	Tabla de Equipos a Diésel Indicando la Potencia, Disponibilidad y Factor de Utilización	33
Tabla 11	Coeficiente de Fricción Según el Material del Tipo de Ductos.....	46
Tabla 12	Cuadro Resumen de Caudal Requerido	45
Tabla 13	Balance de Caudal en la Zona del Proyecto	45
Tabla 14	Tabla de Parámetros de Diseño del Ventilador	45
Tabla 15	Requerimiento de Aire en la mina Manuelita 2019	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Tipo de Ocurrencia de Accidentes Mortales en Minería. Periodo 2007-2019.....	7
Figura 2	Número de Accidentes por Exposiciones e Inhalación de Gases Tóxicos o Asfixiantes	8
Figura 3	Ubicación de la Compañía Minera Argentum	7
Figura 4	Ventiladores Axiales.....	11
Figura 5	Ventiladores Tangenciales	11
Figura 6	Ventiladores Centrífugos	12
Figura 7	Ventilador Helicocentrífugo	12
Figura 8	Curva de Resistencia de un Ventilador.....	14
Figura 9	Curva Característica del Ventilador	15
Figura 10	Presión Barométrica o Atmosférica	17
Figura 11	Presión Absoluta	18
Figura 12	Presión Estática, Dinámica y Total	19
Figura 13	Curva Característica vs. Resistencia.....	20
Figura 14	<i>Curva de Ventilador Zitron ZVN 1-22-400/6</i>	45

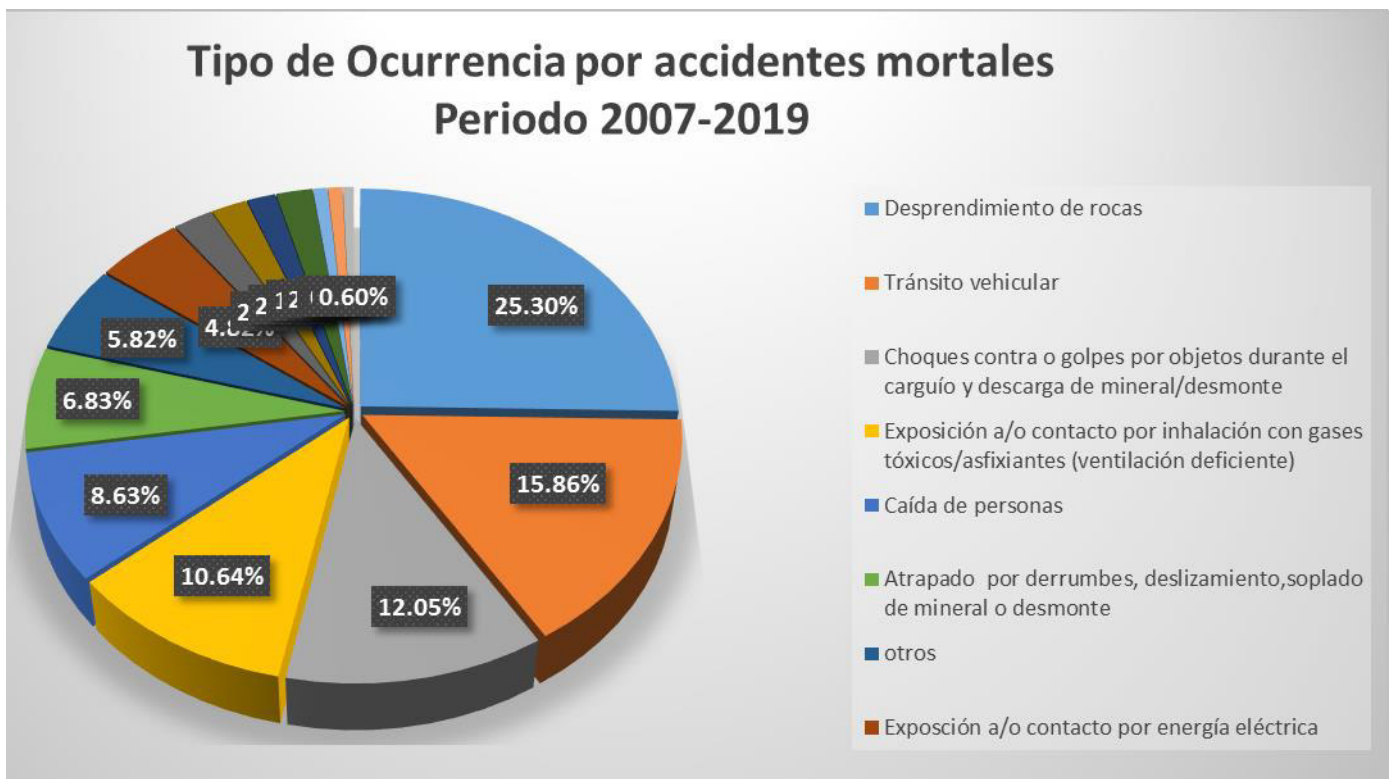
I INTRODUCCIÓN

En los últimos años, específicamente del periodo 2007 – 2019, han ocurrido 498 accidentes mortales en la industria minera, según Osinergmin. En la figura 1 de tipo pastel o torta, se puede visualizar de manera porcentual, también específica el tipo de ocurrencia de los accidentes mortales dentro del periodo 2007-2019.

De los cuales, en ese periodo de 13 años, el 10.64% de los accidentes presentados en la figura 1, se deben a la exposición o contacto por inhalación con gases tóxicos o asfixiantes, lo que se traduce en una ventilación deficiente de la unidad minera.

Figura 1

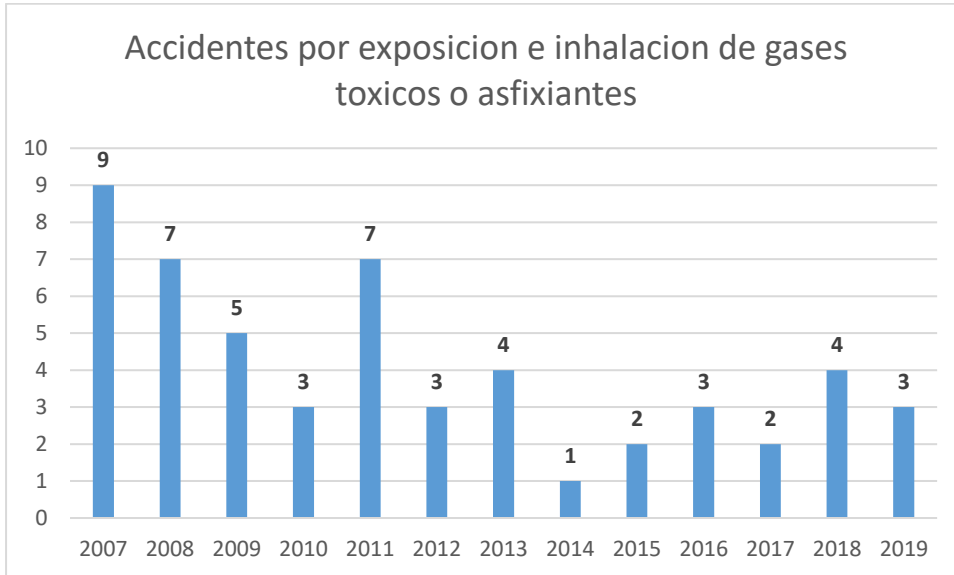
Tipo de Ocurrencia de Accidentes Mortales en Minería. Periodo 2007-2019



Nota. Adaptado de boletín estadístico de la gerencia de supervisión minera 2020, Osinergmin, https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/estadisticaseindicadores/accidentes-mortales/Boletin-GSM-Accidentes-Mortales-2020-01.pdf.

Figura 2

Número de Accidentes por Exposiciones e Inhalación de Gases Tóxicos o Asfixiantes



Nota. Adaptado de boletín estadístico de la gerencia de supervisión minera 2020, Osinergmin, https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/estadisticaseindicadores/acidentes-mortales/Boletin-GSM-Accidentes-Mortales-2020-01.pdf).

En la figura 2 se puede visualizar la distribución por año, del periodo 2007 – 2019 (13 años) de los accidentes mortales en la industria minera. Esto ha conllevado a tomar mucha importancia a los proyectos de ventilación en los últimos años dentro de las empresas mineras, sobre todo en la minería subterránea, para de esta manera contribuir a la disminución de accidentes mortales por exposición o inhalación de gases tóxicos dentro del rubro minero.

Debido al aumento de accidentes mortales por exposición e inhalación de gases tóxicos o asfixiantes a partir del 2014, adicionalmente a ello, el déficit de ingreso de aire a la mina Manuelita, hace que el proyecto de instalar un ventilador axial principal para la unidad minera sea de tipo urgente.

Este es el principal motivo por el cual se mejoró la ventilación en la mina Manuelita, ya que uno de los objetivos organizacionales es obtener una producción limpia, es decir, sin accidentes fatales dentro de las instalaciones de la unidad minera.

Debido a los constantes cambios dentro del rubro minero, se plantearon nuevos objetivos, misión y visión de la empresa, la cual se optó por incrementar la extracción de mineral en la unidad minera debido a la alta ley que se tiene en el lugar, del mismo modo servirá para contribuir con el cumplimiento de los objetivos de la corporación, de ser uno de los mayores productores de plata en el mundo. Estos nuevos objetivos, trajeron consigo cambios positivos como la adquisición de nuevos equipos de acarreo, carguío, así como de perforación que funcionan a motor diésel, incremento de la contratación de nuevo personal, incremento de la cantidad de aire que ingresa a la unidad minera; además del consumo de explosivos.

La evaluación del sistema de ventilación de la zona del proyecto se inició en el mes de setiembre del 2017, con el levantamiento de caudales de las estaciones principales, en las que se pudo identificar que el porcentaje de cobertura disminuyó a un 73% del total (ver tabla 1) en comparación con los meses anteriores del mismo año (enero – agosto).

Tabla 1

Requerimiento de aire en la mina Manuelita en el año 2017

	Ene-17	Feb-17	Mar-17	Abr-17	May-17	Jun-17	Jul-17	Ago-17	Set-17
Ingreso de aire	100,950	99,805	103,113	104,006	94,631	96,216	97,825	81,029	54,551
Requerimiento de aire	71,194	85,603	84,543	86,238	88,357	72,466	72,466	71,830	74,691
Cobertura %	142%	117%	122%	121%	107%	133%	135%	113%	73%

Nota. Adaptado de informe de medición de caudales en la mina Manuelita setiembre 2017

Por lo que se procedió a analizar el circuito para posteriormente realizar una inspección del de los ingresos y también salidas del sistema de ventilación, de los cuales se puede mencionar, que el principal problema de la deficiencia es el diseño inadecuado del sistema, debido a varios

factores tales como, falta de chimenea vertical (raise bore) para la ventilación a la superficie (troncal de salida de aire viciado), derrumbe de los circuitos principales de extracción de aire debido a la sección reducida de las galerías y chimeneas convencionales (2.10 x 2.10), además de que los circuitos son un tanto largo e ineficientes.

Cabe mencionar que la zona del proyecto para el año 2019 tiene una proyección a incrementar equipos diésel, lo cual generará un mayor requerimiento de aire en 62554 CFM (ver tabla 2).

Tabla 2

Incremento de Equipos en el Año 2019

Equipos	Cantidad	HP	Total	CFM
Robot	1	110	110	9,137
Mixer	1	120	120	9,967
Jumbo	1	120	120	9,967
Empernador	1	103	103	8,555
Scooptram				
2.2 Yd3	1	130	130	10,798
Camión utilitario	1	170	170	14,120
Requerimiento Total				62,544

Nota. Adaptado de la base de datos de máster de equipos de la mina Manuelita.

Por tal motivo se planteó un diseño independiente para la evacuación de aire viciado, capaz de cubrir los requerimientos de caudal, además, que pueda perdurar en el tiempo que le queda de vida de la unidad minera. En el diseño se realizó la previsión de la instalación de un ventilador axial principal en superficie, cuya finalidad fue la de incrementar la cobertura de aire a 100% al mes de diciembre del 2018, así como cubrir la nueva demanda de aire al año 2019 mejorando de esta manera todo el sistema de ventilación.

Se calculó el caudal que va a requerir la mina, teniendo en cuenta el sustento técnico como legal según el Ministerio de Energía y Minas en el reglamento de seguridad y Salud Ocupacional D.S. N.º024-2016-EM, y su modificatoria D.S.023-2017-EM. se tiene establecido los artículos 247, 248, 252 y 254 (MINEM, 2020).

II INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1. Institución donde se desarrolló la actividad

La Institución donde se desarrolló la actividad, es la Compañía Minera Argentum S.A. que se encuentra ubicada en el centro del país, a 4300 m.s.n.m. en el distrito de Morococha, provincia de Yauli, departamento de Junín.

Figura 3

Ubicación de la Compañía Minera Argentum



Nota. Adaptado de Página de Facebook [Foto de portada], por Unidad Minera Argentum, 2020.

<https://www.facebook.com/ArgentumPeruOficial/photos/a.111677503886148/115081936879038/?type=3&theater>

2.2. Periodo de duración de la actividad

El periodo de duración de la actividad del presente trabajo duro 12 meses, desde enero del 2018 hasta el diciembre del 2019.

2.3. Finalidad y objetivo de la entidad

La finalidad, así como el objetivo de la empresa se ven reflejado en la misión, visión y valores de la Compañía Minera Argentum.

Misión

Somos un grupo minero peruano que produce concentrados en plomo, cobre, así como zinc con altos contenidos de plata; comprometido a proteger el Ambiente, la Seguridad y Salud de todos quienes, en nombre de la organización, brindan a nuestros inversionistas los mejores medios para aprovechar los mejores precios de plata en el mercado.

Visión

Ser el principal productor de plata en Perú con una reputación de excelencia en descubrimiento, ingeniería, innovación y sustentabilidad. (Panamerican Silver, 2022).

Valores

Ética: Operar nuestros negocios sin favoritismo, miedo, coacción, discriminación o acoso.

Honestidad: Proveer información completa, correcta, exacta, oportuna y comprensible, a todos los organismos reguladores, así como a los accionistas y a los empleados.

Integridad: Operar de manera ética y responsable, cumpliendo con todas las leyes, normas y regulaciones aplicables.

Seguridad y salud ocupacional: Proporcionar un lugar de trabajo seguro y saludable para todos nuestros empleados y contratistas.

2.4. Razón social

Compañía Minera Argentum S.A. - RUC: 20507845500.

2.5. Dirección Postal

Dirección Postal: Km. 147 Carretera Central (Ex - Golf) – Morococha.

Dirección Legal: Av. la Floresta Nro. 497 Int. 301

2.6 Dirección de correo electrónico del profesional a cargo

Correo electrónico: kostos@pe.panamericansilver.com

III DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1. Organización de la actividad

La compañía minera cuenta con 3 zonas de extracción de mineral. Estas son las minas de Alapampa, Codiciada y Manuelita. A su vez, la compañía cuenta con distintas áreas tales como área Salud, Seguridad Ocupacional, Planeamiento Mina, Operaciones Mina, Mantenimiento y Energía, Planta Concentradora, Geología, Proyectos, Recursos Humanos, Administración, Bienestar Social, Logística, Medio Ambiente, Contratos y Gerencia de Operaciones. Estas áreas velan por las tres zonas de extracción de mineral, la cual va a permitir el correcto funcionamiento del proceso de minado, acarreo, así como el traslado del mineral hacia la planta concentradora, para su proceso productivo de chancado, molienda, flotación y filtración. La zona de influencia del área de Mantenimiento y Energía abarca a las tres zonas de extracción de mineral, de igual manera a la planta concentradora. Para el presente estudio se va a tomar solo los datos de la mina Manuelita. En esta unidad minera se tiene diversas áreas que trabajan en conjunto, dentro de las cuales el área de mantenimiento y energía. Se encarga de brindar soporte del área operativa tanto de la mina y de planta concentradora. Además, otra función importante es la de brindar disponibilidad, así como la confiabilidad de los equipos para las operaciones de la mina como la planta concentradora para seguir con la producción de mineral, teniendo en cuenta los costos óptimos de mantenimiento, la seguridad, salud ocupacional y medio ambiente dentro de la compañía minera Argentum.

Dentro del área de Mantenimiento y Energía se tienen varios departamentos como se puede ver en la tabla 3, los cuales son: Planeamiento, Taller Equipo Pesado, Taller Mecánico Mina, Taller Eléctrico Mina, estos talleres velan por las tres zonas de extracción de mineral, mientras que los talleres de Planeamiento, Mecánico Planta, Eléctrico Planta e Instrumentación velan por la planta concentradora.

Tabla 3

Distribución de los Talleres del Área de Mantenimiento y Energía en Toda la Compañía Minera Argentum.



Nota. Fuente propia

El departamento donde se realizó la actividad es el de Planeamiento, el cual es la columna vertebral del área, en este departamento es donde se realiza la planificación, programación de los mantenimientos de los equipos (mina y planta concentradora), el control de los costos del área, seguimiento de repuestos, componentes y proyectos de mejora del área.

3.2. Finalidad y objetivos de la actividad

3.2.1 Objetivo Principal

- Calcular los parámetros de diseño para un ventilador axial principal para la mina Manuelita en compañía minera Argentum.

3.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la cantidad de caudal necesario para extraer el aire del interior de la mina, la cual está determinada por las normas peruanas establecidas en el D.S. 024-2016-EM, y su modificatoria D.S. 023-2017-EM (MEM).
- Calcular la presión que necesita el ventilador axial principal para extraer todo el aire viciado de la unidad minera.
- Determinar la potencia del ventilador axial principal.

3.3. Problemática

El problema de la mina Manuelita inicia desde el año 2017, por factores externos e internos. El factor externo fue debido al proceso de voladura que ocasionó la empresa Chinalco, lo cual generó que las chimeneas que se tenían en la unidad minera se obstruyeran debido a los constantes derrumbes. Lo cual se ve reflejado en el déficit de ingreso de aire en el mes de setiembre del año 2017(ver tabla 1) para el interior de la mina.

Al no tener el aire requerido por la mina, surgen inconvenientes por parte de los trabajadores tanto técnicos como obreros, los cuales mencionan los siguientes problemas: El incremento de temperatura, presencia de monóxido en los talleres de mantenimiento, irritación de ojos, humo negro al arrancar los equipos a diésel, cambio constante de filtros de aire primario, así como los secundarios en los equipos a diésel, incremento de fallas en los motores a diésel, problemas para respirar dentro de la mina, cambio constante de equipos de protección personal tales como respirador, cartuchos y filtros de aire. Todos estos factores mencionados son los que han influenciado en la problemática de la unidad minera, permitió desencadenar un mal desempeño en los trabajadores, equipos y producción de la zona de extracción, debido a que estuvieron trabajando bajo condiciones anormales en comparación con meses u años anteriores.

3.4. Metodología

Se calculó los parámetros de diseño del ventilador axial principal, se determinó el cumplimiento del caudal requerido por la unidad minera y el incremento de la extracción del aire viciado de la mina Manuelita con respecto del año 2017, la cual se realizó de la siguiente manera:

- Se determinó el caudal de diseño que se necesita extraer de la mina subterránea.
- Se calculó la presión que necesita usar el ventilador para extraer el aire viciado de la unidad minera.
- Se calculó la potencia de diseño del ventilador axial principal.
- Se verificó el cumplimiento del caudal requerido en el último semestre del año 2019.
- Se midió el incremento de la cantidad de aire extraído por el ventilador axial principal, dentro de la mina con respecto del año 2017.

3.5. Procedimientos

3.5.1 Fuentes de información

- Informes periódicos de tipo mensual, semestral y anual de medición de aire en la mina.
- Documentos del departamento de Planeamiento tales como máster de equipos

3.5.2 Unidad de observación

La unidad de observación fue la cantidad de aire en volumen que ingresa a la unidad minera.

3.5.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Se realizó la medición de la cantidad de aire que ingresa y sale de la mina mediante la contratación de una empresa especializada para que realice las mediciones de aire tanto en volumen como en contaminación.
- Se usó dispositivos de medición de volumen de aire, además de un analizador de gases para medir la contaminación del aire en la mina. El ventilador axial principal instalado cuenta con este sistema de medición integrado en su sistema automático, de medición de volumen, también el análisis de contaminantes del aire. Esta información puede ser visualizada en tiempo real y al mismo tiempo almacenada en una base de datos dentro del ordenador donde se controla de manera remota el funcionamiento de este.

3.5.4 Procedimiento de recolección de datos

La Compañía Minera Argentum S.A. cuenta con los procedimientos propios de manera interna para realizar la contratación del servicio de medición de aire tanto en volumen como en contaminantes dentro del interior de la mina, el cual se va a realizar de manera diaria por 7 meses desde enero de 2017 hasta diciembre de 2017.

La forma de presentación de estos resultados era de manera mensual, semestral, así como el anual. Los datos de la medición del volumen, además de contaminantes del aire, se obtuvieron de la base de datos que posee el ventilador axial, la cual se obtuvo dentro del último semestre de 2019.

3.6. Resultados de la actividad

3.6.1. Sustento teórico

3.6.1.1 Ventiladores

Ian et al. (2014) indica que:

Las turbomáquinas efectúan cambios de presión, principalmente debido a efectos dinámicos, relacionados con el cambio de impulso impartido a los fluidos, pasando a través de ellos. Estos están asociados con el flujo constante de fluido a altas velocidades. Estas altas velocidades conducen a unidades compactas, más adecuadas para caudales másicos relativamente grandes. Por lo tanto, los compresores y turbinas de este tipo son los más adecuados para este sistema a gran escala.

Los ventiladores son turbomáquinas que tienen la particularidad de mover o transportar un fluido de tipo gaseoso, mayormente en enormes volúmenes, y a bajas presiones.

Según García (2011) menciona que:

Son turbomáquinas que manejan fluidos, para los ventiladores en particular manejan gases como el aire y que la densidad de este se puede considerar que no varía sensiblemente a su paso por la máquina; y por tanto, con fines de cálculo y diseño, se pueden considerar el flujo como incompresible es decir la densidad del fluido se mantiene constante (pág.1).

3.6.1.2 Tipos de ventiladores

Según Renedo (2011) los ventiladores se pueden clasificar de la siguiente manera:

a) Por la diferencia de presión estática:

Tabla 4

Rango de Presiones Estáticas en Ventiladores

	Rango
Alta Presión	180 mm.c.a <math><\Delta p</math><math><300\text{ mm.c.a.}</math>
Media Presión	90 mm.c.a <math><\Delta p</math><math><180\text{ mm.c.a.}</math>
Baja Presión	<math>\delta math><="" mm.c.a.}<="" p<90\text{="" td=""></math>\delta>

Nota. Adaptado del cuaderno de apuntes del curso de ventilación industrial.

b) Por el tipo de accionamiento

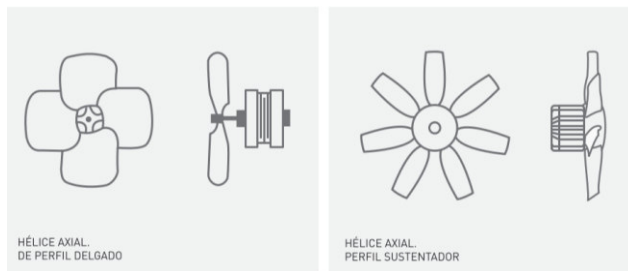
- Accionamiento directo
- Accionamiento indirecto por transmisión

c) Por el modo de trabajo

- **Ventiladores axiales:** Los ventiladores axiales (ver figura 3) “mueven grandes caudales con incremento de presión estática baja. Las cuales pueden ser Hélice o Axial o de tubo axial que, en una envolvente, dan mayores presiones, generan mucho ruido.” (Soler & Palau, 2020, pág.7)
- **Ventiladores tangenciales:** En este tipo de ventiladores (ver figura 4) “la trayectoria del aire en el rodete es normal al eje tanto a la entrada como a la salida.” (Soler & Palau, 2020, pág.8)
- **Ventiladores helicocentrífugos:** Estos ventiladores (ver figura 6) “Se encuentran en el intermedio entre los centrífugos y los axiales, el flujo de aire entra como helicoidal y sale como en los centrífugos.” (Soler & Palau, 2020, pág.8)

Figura 4

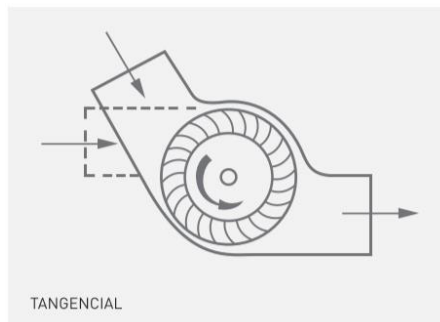
Ventiladores Axiales



Nota. Reproducido de “Capítulo 6 Características y clasificación”, por S & P, Manual de Ventilación, 2020. Todos los derechos reservados 2020 por Licenciatario.

Figura 5

Ventiladores Tangenciales



Nota. Reproducido de “Capítulo 6 Características y clasificación”, por S & P, Manual de Ventilación, 2020. Todos los derechos reservados 2020 por Licenciatario.

- **Ventiladores centrífugos:** La salida del flujo de aire es perpendicular a la entrada. Dentro de estos ventiladores centrífugos ver figura 5 se caracterizan por el tipo de álabes que manejan. Los álabes curvados hacia adelante son los menos eficientes, pero los que dan mayor presión y caudal.
“Los de álabes rectos son de fácil construcción y se suele emplear en captación de aire sucio. Y finalmente se tiene los de álabes curvados hacia

atrás que son los más eficientes, pero de bajos caudales”. (Soler & Palau, 2020, pág.6)

Figura 6

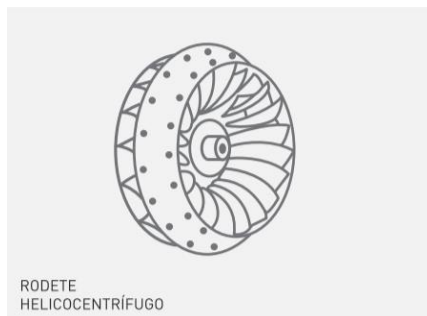
Ventiladores Centrífugos



Nota. Reproducido de “Capítulo 6 Características y clasificación”, por S & P, Manual de Ventilación, 2020. Todos los derechos reservados 2020 por Licenciario.

Figura 7

Ventilador Helicocentrífugo



Nota. Reproducido de “Capítulo 6 Características y clasificación”, por S & P, Manual de Ventilación, 2020. Todos los derechos reservados 2020 por Licenciario.

Según Novitsky (1962) menciona que:

La regulación del régimen de los ventiladores axiales puede realizarse mediante:

- Rotación de las paletas de la rueda

- Rotación de las paletas de la corona directriz
- Cambio del número de revoluciones
- Cambio del número de paletas de la rueda
- Cambio del número de ruedas

La inversión de la corriente de ventilación del ventilador axial se alcanza cambiando el sentido de rotación y rotando las paletas en 180°. La regulación de la instalación mediante rotación de las paletas de la rueda móvil produce un efecto económico suficiente y es el método básico, ya que el rendimiento de la instalación disminuye poco (pág.390).

3.6.1.3 Curva característica de un ventilador

En la curva de color azul, se tiene una curva de inflexión, de subida, bajada, o de ascenso, así como de depresión. El cual se tiene un punto donde la presión será la misma para valores distintos de caudal y esto va a generar problemas de inestabilidad en el ventilador.

Según Jiménez (2011) menciona que:

A este tramo de curva de inflexión llaman cámara de estacionamiento de aire o STALL donde el ventilador debido a estas estáticas y volúmenes dobles se vuelve inestable presentando un latido repetitivo y que suena como bum, bum, bum, que ocasiona un aumento y disminución del volumen de aire. El hacer funcionar en esta línea de inflexión se debe a la instalación del ventilador con un excesivo ángulo de paso de aire en el impeler o impulsor para un volumen de aire deseado, siendo más factible de entrar en esta línea de inflexión cuando

se usa ventiladores de gran volumen, por lo que siempre al compararse debe especificarse bien el volumen y la estática requerida para la mina, y puedan seleccionar y elegir bien el ventilador adecuado a la resistencia de la mina en su mayor eficiencia (pág.133).

La curva de resistencia (ver figura 7) del ventilador va a estar en función de la altura y caudal. Estos valores de la curva van a variar al modificar tanto la altura como su caudal.

En donde se intercepta la curva de resistencia con la curva característica del ventilador se tiene el punto óptimo de operación de cada ventilador. Si este punto de óptimo de operación es cambiado, lo que va a ocurrir, es que el ventilador tendrá una menor eficiencia debido a que no estará trabajando en el punto óptimo de operación.

Figura 8

Curva de Resistencia de un Ventilador

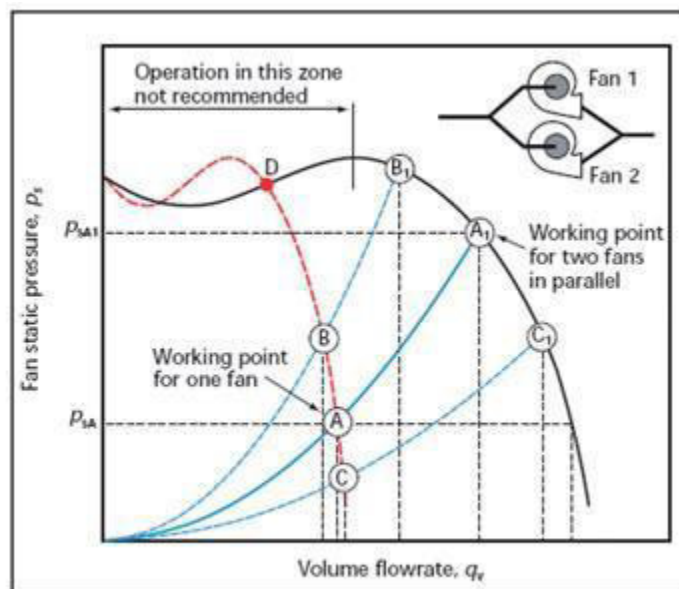


Figura 13. Curva de ventiladores en paralelo

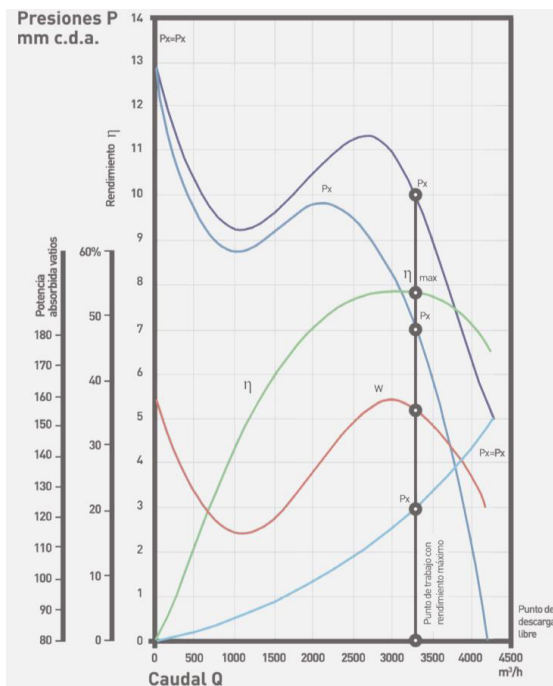
Nota. Recuperado de "Display, Curso de: ventiladores - turbomáquinas"
(<https://docplayer.es/62742232-Ventiladores-turbo-maquinas-docente-mq-ing-julca-verastegui-luis-alumno-leiva-licera-sergio.html>)

Según Jiménez (2011) recomienda que:

Se compre el ventilador de paletas simples o de paletas regulables. En el caso de estos últimos el ángulo de las paletas o pitch para la resistencia del ventilador debe ser minimizado o disminuido como medida preventiva, y al pedir el ventilador debe indicarse que las paletas que vengan con el ángulo de ataque ajustado a la máxima eficiencia para la cantidad de volumen y estática solicitado por la mina, aunque la cantidad de aire que descarga el ventilador, varía directamente con el ángulo de las paletas lo que permite flexibilidad para otras oportunidades o para otros volúmenes que exigen otros circuitos aunque no sea tan eficiente, pero evitando estar cerca de la línea de inflexión (pág.134).

Figura 9

Curva Característica del Ventilador



Nota. Reproducido de “Capítulo 6 Características y clasificación”, por S & P, Manual de Ventilación, 2020. Todos los derechos reservados 2020 por Licenciatario.

3.6.1.4 Presión de ventilador

La presión es la fuerza por unidad de superficie o unidad de área correspondiente a la energía por unidad de volumen en el fluido y esta se puede expresar de la siguiente manera.

$$P = \frac{F}{S} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Se distingue tres tipos de presiones:

a. Presión atmosférica o barométrica

Según Cengel (2012), menciona que la presión atmosférica de un lugar es sencillamente el peso del aire que se encuentra arriba de ese lugar por unidad de área superficial. Por lo tanto, cambia no solo con la elevación, sino también con las condiciones atmosféricas (pág.79).

La presión barométrica es inversamente proporcional con nivel del mar y además la presión disminuye hasta 0 en la estratosfera donde no hay aire, (ver figura 10). Se puede tener las siguientes equivalencias de presiones atmosféricas:

Tabla 5

Tabla de Equivalencias de Presiones Atmosféricas

Equivalencias de presiones atmosfericas	
1 atmosfera	= 1Kg/cm2
760 mm.c.Hg	= 1.033 atmosferas
Presion atmosferica normal	= 760 mm.c.Hg
1 mm.c.Hg	= 13.6 mm.c.H2O
1 atmosfera	= 10,000 mm.c.H2O
1 bar	= 10 mmc.H2O

Nota. Adaptado de cuaderno de apuntes del curso de ventilación industrial.

Figura 10

Presión Barométrica o Atmosférica



Nota. Recuperado de “Presión atmosférica; que es y cómo se mide”
(<https://sailandtrip.com/presion-atmosferica/>)

b. Presión manométrica o relativa

Se denomina P_m o P_r a la diferencia entre la presión del fluido (gases) y P_{atm} además las P_{abs} son las presiones referidas al cero absoluto. El instrumento de medición de la P_r o la P_m se realiza con el manómetro. Se determina por la siguiente ecuación:

$$P_{abs} = P_r + P_{atm} \quad (2)$$

Donde:

P_{abs} - Presión absoluta

P_r - Presión relativa

P_{atm} - Presión atmosférica

P_m - Presión manométrica

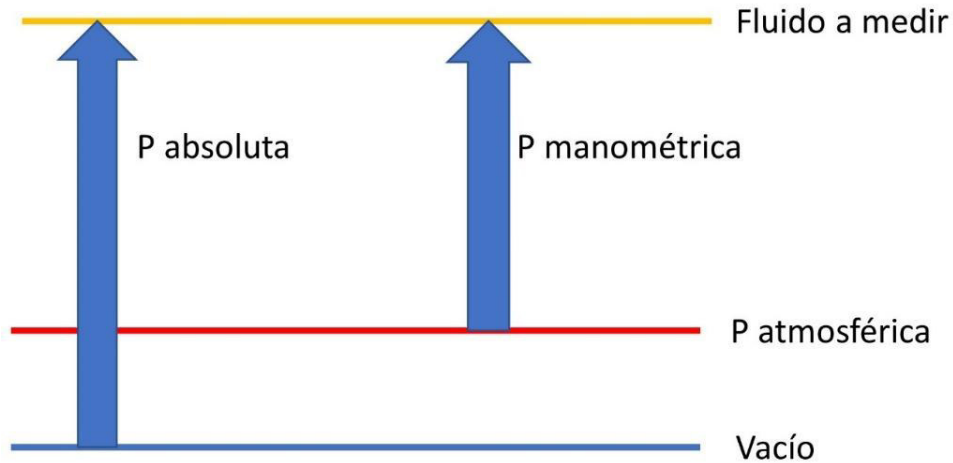
Para usos normales la fórmula se simplifica de la siguiente manera:

$$P_{abs} = P_r + 1 \quad (3)$$

$$P_{abs} = P_m + 1 \quad (4)$$

Figura 11

Presión Absoluta



Nota. Recuperado de “Diferencias entre la presión absoluta, manométrica y diferencial”

(<http://plcdesign.xyz/presion-absoluta/>)

c. Gasto o Caudal (Q)

“Un parámetro fundamental dentro de la mecánica de fluidos es el gasto o caudal. El cual se interpreta como el volumen de un fluido que transita a través de una sección por un tiempo determinado” (Soler & Palau, 2022).

En el Sistema Inglés se usa el término Cubic Feet Minute (CFM).

d. Presión estática (P_e)

Una propiedad que tienen todos los fluidos (líquidos y gases) es la presión.

La P_e es la presión de un fluido ejercido por la posición en la que se encuentra con respecto a un punto en el medio continuo. Si se considera el medio como vacío, la P_e sería igual a la P_t .

e. Presión dinámica (P_d)

La P_d se interpreta como la presión que ejerce un fluido en movimiento. La cual es ejercida debido a las diferentes presiones en distintos puntos, esto generará un gradiente de presión, también al mismo tiempo proporciona una velocidad en el aire.

$$P_d = \frac{\gamma V^2}{2g} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (5)$$

Donde:

Y - Peso específico del aire (kg/m³)

g - Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

v - velocidad del aire (m/s)

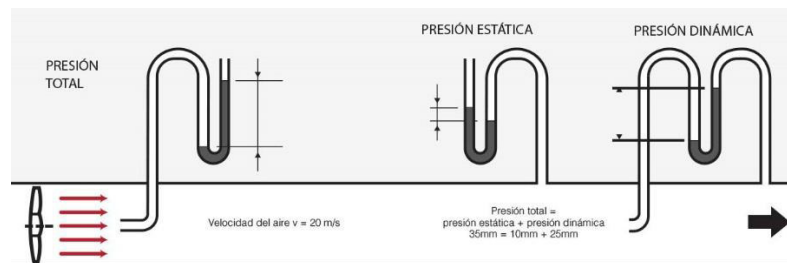
f. Presión total

La P_t es la presión debido al grado de compresión del aire, así como su movimiento es la suma algebraica de la P_d más la P_e en un punto. Se debe observar que la P_e es menor que cero en la succión y mayor que cero en la impulsión, mientras que la P_d es siempre mayor que cero tanto en la aspiración como en la impulsión porque depende la velocidad.

$$P_t = P_e + P_d \quad (6)$$

Figura 12

Presión Estática, Dinámica y Total



Nota. Reproducido de "Capítulo 6 Características y clasificación", por S & P, Manual de Ventilación, 2020. Todos los derechos reservados 2020 por Licenciatarario.

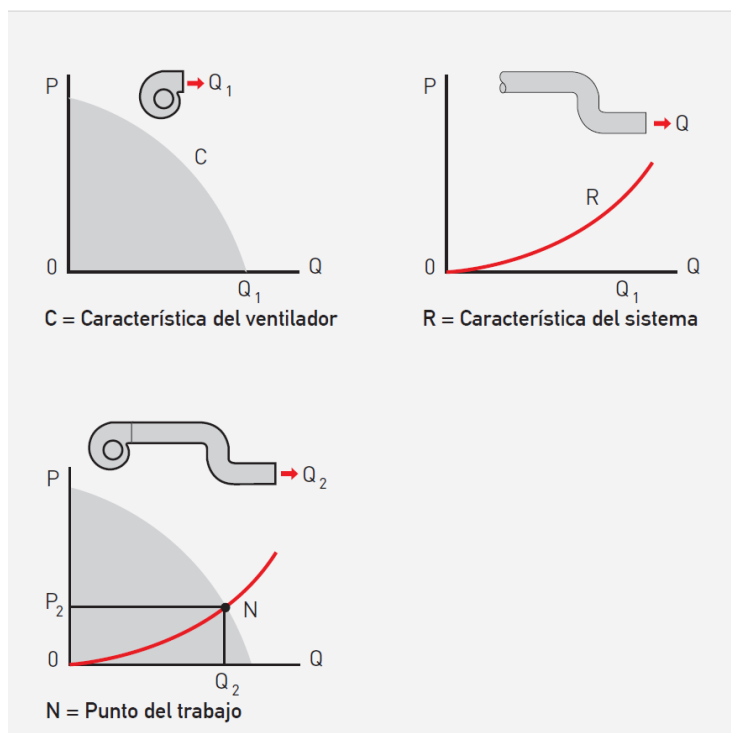
3.6.1.5 Punto de Operación

Al momento de generar la curva característica del ventilador, usamos las variables de presión y caudal, con la cual se construye usando distintos valores de presión por cada valor de caudal. De la misma manera se construye la curva de resistencia del sistema de ventilación.

Cuando superponemos ambas curvas existe un único punto en el cual se interceptan ambas. A ese punto se le conoce como punto de operación óptimo, como consecuencia lo que refleja es que el ventilador está diseñado para que trabaje con esos valores de presión como caudal, para que el ventilador trabaje en su máxima eficiencia, tiene que operar a esos valores de diseño. De lo contrario, el ventilador no estará trabajando en su punto de operación y traerá consigo fallas de tipo operacional.

Figura 13

Curva Característica vs. Resistencia



Nota. Reproducido de “Capítulo 6 Características y clasificación”, por S & P, Manual de Ventilación, 2020. Todos los derechos reservados 2020 por Licenciatario.

3.6.1.7 Ventilación principal

Según Jiménez (2011), menciona que la ventilación principal consiste en la renovación del aire del flujo principal de una sección, circuito o interior de mina. Es la principal porque se encarga de distribuir el aire por distintos ramales (pág.76).

Para nuestro caso la ventilación se hace mediante succión, es decir, que se extrae el aire viciado de la mina.

3.6.1.8 Ventilación secundaria

Según Jiménez (2011) indica que:

Se utiliza este tipo de ventilación cuando el sistema, para este caso la mina, ha ejercido bastante resistencia a la presión de la ventilación principal debido a las pérdidas por longitud, curvas, reducción de áreas. Esto origina que la presión baje y la ventilación secundaria va a ayudar a que la presión del aire ingrese a las labores y talleres en mina (pág.76).

3.6.1.9 Ventilación auxiliar

Según Jiménez (2011) menciona que:

Este tipo de ventilación auxiliar se usa de manera puntual bajo ciertas condiciones, las cuales son para uso de raise bore o chimeneas, espacios confinados y tajos. La capacidad de este tipo de ventiladores es pequeña en comparación con los de la ventilación principal y secundaria (pág.76).

3.6.1.10 Criterio de definición de caudales

Según el MEM se tiene que:

La estimación de la cantidad necesaria de aire en una zona de trabajo lo ha determinado el Ministerio de Energía y Minas mediante el D.S. N.º024-2016-EM, y su modificatoria D.S. N.º023-2017-EM (MEM) donde se establece en los artículos 247,248,252 y 254 (MINEM, 2020).

Está determinada por la suma de los siguientes caudales:

$$Q_T = Q_{Tr} + Q_{Te} + Q_{Eq} + Q_{Ex} + Q_G \quad (7)$$

Donde:

Q_T - Caudal total requerido.

Q_{Tr} - Caudal total para "x" personas que trabajen en el interior de la mina (m^3/s).

Q_{Te} - Gasto que depende de la temperatura (m^3/min).

Q_{Eq} - Gasto total para "n" equipos diésel que trabajen en interior de la mina (m^3/s).

Q_{Ex} - Caudal total para diluir contaminantes por explosivos (m^3/s).

Q_G - Caudal requerido para gases y polvo en suspensión (m^3/s)

3.6.1.10.1 Número de personas

Según el MINEM:

Según el artículo N.º247 del D.S. N.º024-2016-EM, y su modificatoria D.S. 023-2017-EM, establece que para el sector minero específicamente para las minas que tienen una altitud por encima de los 1500 m.s.n.m. se tiene cumplir que la cantidad mínima de aire que debe tener una persona es la de $3m^3/min$. A altitudes mayores a la mencionada anteriormente se tiene la siguiente escala (MINEM, 2020).

Tabla 6

Requerimiento de Caudal con Respecto a la Altitud de las Minas

Altitud (msnm)	Incremento	Caudal (m^3/s)
1500 a 3000	40%	4
3000 a 4000	70%	5
4000 a más	100%	6

Nota. Adaptado del reglamento de seguridad y salud en minería.

El gasto necesario para una determinada cantidad de personas es:

$$Q_{Tr} = K \times N \quad (8)$$

Donde:

K - Caudal mínimo por persona (m^3/min).

N - Número de personas en el lugar.

3.6.1.10.2 Caudal requerido por temperatura

Según el anexo 38 del Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería:

“La evaluación del requerimiento de aire” del D.S. N.º024-2016-EM, y su modificatoria D.S.N.º023-2017-EM, se da los siguientes valores (MINEM, 2020).

Tabla 7

Velocidad Mínima

Temperatura Seca (°C)	Velocidad Mínima (m/min)
<24	0.00
24 a 29	30.00

Nota. Recuperado de “Reglamento de seguridad y salud ocupacional en Minería”.

(<https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/LIBROS/RSSO/RSSO2020.pdf>)

$$Q_{Te} = V_m \times A \quad (9)$$

Donde:

V_m - Velocidad mínima (m/min).

A - Área de trabajo de una labor promedio (m²).

N - Número de niveles con temperatura mayor a 23 °C, establecido en el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería.

3.6.1.10.3 Equipos diésel

Según el artículo N.º247 del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería:

Establece que para equipos o máquinas que funcionan a diésel, la cantidad mínima necesaria es de 3m³/min de aire por cada HP que desarrollan los equipos durante su operación en la mina. Utilizamos la siguiente fórmula para calcular el gasto (MINEM, 2020).

$$Q_{Eq} = K \times N \quad (10)$$

Donde:

K - Caudal mínimo por equipo diésel (m^3/s).

N - Suma de la cantidad de HP de los equipos diésel.

Para determinar el gasto de los equipos que funcionan a diésel, se hace con el supuesto de que todos los equipos funcionan al mismo tiempo para determinar la cantidad de flujo de aire que se necesita como máximo.

3.6.1.10.4 Consumo de explosivos

$$Q_{Ex} = n \times V \times A \quad (11)$$

Donde:

N - Número de niveles de la mina.

V - Velocidad de aire, según la norma en el artículo N.º247 del reglamento de seguridad y salud ocupacional de minería, indica que cuando se emplee explosivo ANFO u otros agentes de voladura, la velocidad del aire no será menor de 25 metros por minuto (m^2/s).

A - Área de la sección de labores (m^2).

3.6.1.10.5 Desprendimiento de gases y polvo en suspensión

De acuerdo con lo establecido en el artículo N.º247 del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería:

Establece que en ninguna circunstancia la velocidad del aire este en el rango de 20 m/min - 250 m/min como mínimo y máximo respectivamente en los lugares donde se esté realizando alguna actividad dentro de la operación para que el personal pueda trabajar en buenas condiciones (MINEM, 2020).

$$\text{oncentraci3n max. Perm}\% = \text{Con. Disparo}\% e^{\left(-\text{Caudal requerido} \cdot \frac{T_{\text{vent}}}{\text{Cantidad gases}}\right)} \quad (12)$$

3.6.1.11 Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga que se encuentran en el sistema de ventilación auxiliar. Se encuentran segmentados en pérdidas de carga por fricción, singulares y presión dinámica.

Según Ord3ñez (2014) menciona que:

El momento en el que circula el caudal por una sección o galería, se requiere una determinada presión para poder mover el aire a través de esta sección o galería. En esta circunstancia se observa la resistencia del sistema fragmentado en la fricción interna, tamaño, longitud, forma del ducto, velocidad, así como de densidad del aire. Estos factores mencionados anteriormente están incluidos dentro de la ecuación de J. Atkinson, también llamada como Ley de Atkinson.

$$\Delta P = \frac{KCLV^2}{A} \quad (13)$$

Donde:

ΔP - 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).

Sabemos que:

$$Q = V \times A \quad (14)$$

Entonces la Ley de Atkinson se puede expresar de la siguiente manera, usando la ecuación 13 y 14:

$$\Delta P = \frac{KCLQ^2}{A^2} \quad (15)$$

Según Jiménez (2011), nos menciona que dentro de un sistema de ventilación auxiliar las pérdidas en las galerías son menos que las de las tuberías, cerca de 1% (p.140)

3.6.1.11.1 Pérdidas singulares

Según Ordóñez (2014) menciona que:

Son las que ocurren cuando el flujo del fluido cambia de dirección o cuando la galería de la mina cambia de sección. Esta pérdida de carga tiene relación con la velocidad del fluido y por efecto se calcula como un porcentaje de la P_d del fluido.

$$\Delta P_{\text{sin}} = \varepsilon \times \frac{\rho u^2}{2} \quad (16)$$

Donde:

ΔP_{sin} - Pérdida de carga del aire (Pa).

ε - Coeficiente de pérdida del elemento, obtenido experimentalmente.

ρ - Densidad del aire (Kg/m³).

u - Velocidad del aire en el conducto (m/s).

Esto se utiliza cuando nos encontramos en un sistema de ventilación auxiliar porque cuenta con accesorios tales como codos, cambio de diámetro de la tubería, punto de bifurcación, rejillas, etc.

3.6.1.11.2 Perdidas por presión dinámica

Según Ordóñez (2014) menciona que durante el momento que se está llegando al final del sistema de ventilación se debe tener en cuenta la P_d con la que sale el aire al final del circuito.

Esto representa una pérdida adicional y está íntimamente ligada a la presión dinámica. Se calcula como:

$$\Delta P_{\text{din}} = \frac{\rho u^2}{2} \quad (17)$$

Donde:

ΔP_{sin} - Es la pérdida de carga del aire (Pa).

ρ - Es la densidad del aire (Kg/m³).

u - es la velocidad del aire en el conducto (m/s).

3.6.1.1.3 Factor de fuga en tuberías

En un sistema de tuberías donde se transporta un fluido cualquiera, las fugas van a estar presentes dentro del mismo sistema por algún tipo de desgaste dentro de la tubería debido al transporte de fluido.

Según Ureta (2019), indica que el caudal final total se obtiene teniendo en consideración todas las fugas del sistema se realiza mediante la fórmula empírica:

$$Q_{\text{final}} = Q_x \left(1 - \frac{F}{100}\right)^{-\left(\frac{L}{100}\right)} \quad (18)$$

Donde:

Q_{final} – Caudal final a la salida del ventilador axial (m³/s).

Q_x – Caudal requerido en el frente de trabajo (m³/s).

L - Longitud equivalente del túnel (m).

F – Factor de fuga de la tubería otorgado por el fabricante.

Las pérdidas en cargas en tuberías también están dadas por la siguiente ecuación de Colebrook –White:

$$L = h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (19)$$

Donde:

f - Coeficiente de fricción de la tubería.

L - Longitud de la tubería (m).

D - Diámetro de la tubería (m).

V – Velocidad (m/s).

g – Gravedad (m/s²).

Según Ureta (2019) menciona que:

Durante la formulación e ingeniería de detalle, se debe tener en cuenta el correcto diseño del sistema tuberías y también el mantenimiento de este, para evitar fugas excesivas dentro de un sistema y por ende pérdida de presión de un punto a otro. (pág.43)

Esto debido a que en todo sistema va a existir fugas por mínimas que sean, en otros casos, por la frecuencia de uso presentarán algún tipo de desgaste del material ya sea por el tipo de fluido a transportar, material de fabricación del ducto, etc.

3.6.1.13 Potencia instalada

Para realizar efectivamente el cálculo de la potencia del motor eléctrico se utiliza la siguiente ecuación:

$$AHP = \frac{Q \times H}{6350} \quad (20)$$

$$HP = \frac{Q \times p \times a}{b \times \eta} \quad (21)$$

Donde:

Q - Caudal de aire en (m³/s o kcfm).

p – Presión total del ventilador (InH20 o Kpa).

D - Eficiencia del ventilador, la cual varía entre 85% a 96% (dependiendo de la fabricación, tamaño y punto de trabajo).

AHP - Potencia necesario para mover el caudal Q de aire en un circuito, cuya depresión es H en Kw.

BHP - Potencia del ventilador en Kw.

a – Es una constante el cual depende del sistema de medición que estemos usando, si estamos usando S.I. es 1 y si estamos usando sistema ingles se utiliza como 5.2.

b - Es una constante el cual depende del sistema de medición que estemos usando, si estamos usando S.I. es 1 y si estamos usando sistema ingles se utiliza como 33.

3.6.2. Cálculo de Parámetros del Ventilador Axial

3.6.2.1 Datos del proyecto

Dentro del proyecto de mejora de ventilación de la mina Manuelita en compañía minera Argentum se cuenta con las siguientes consideraciones del proyecto:

Tabla 8

Consideraciones del Proyecto

Consideraciones para el proyecto	Valores
0 a 1,500 m.s.n.m.	3.00 m ³ /min.
1,500 a 3,000 m.s.n.m.	4.20 m ³ /min.
3,000 a 4,000 m.s.n.m.	6.00 m ³ /min.
más de 4,000 m.s.n.m.	6.00 m ³ /min.
Equipo Diesel 1 HP	3.00 m ³ /min.
Avance por disparo	3 m
Nº Guardias/Día	2
Nº Disparos/Guardia en cada Stope	1
Producción de Gases CO generado por el dis	0.036 m ³ gas/Kg Anfo
Explosivo	Anfo
Consumo de Explosivo	145 Kg/Disparo
Tiempo de Vnetilación Máxima	45 Minutos
Concentración Máxima Permisible (CO)	0.0025%
Extensión Máxima de Humo	50 m

Nota. Adaptado de la base de datos de máster de equipos e informe anual del área de ventilación de 2018

La cantidad de equipos que funcionan a diésel en la zona del proyecto son 11, dentro de las cuales se utilizan para el proceso de acarreo, carguío y perforación dentro de la unidad minera.

Se tienen equipos de las marcas Sandvik en los modelos LH201, así como los LH203, Resemin en modelo Mukki FF, Mukki LHP y Kubota. Todos los equipos se encontraban disponibles como operativos para realizar su función por parte de los operadores.

Tabla 9*Equipos a Diésel*

#	Equipos Diésel	HP
1	Microscoop Tamrock LH201D (0.7 yd3) S-111	58
2	Microscoop Tamrock LH 203 (2.2 yd3) S-209	150
3	Microscoop Tamrock LH-201D (0.7 yd3) TM31	58
4	Scooptram Tamrock LH203D (2.2 yd3) TM43	150
5	Scooptram Tamrock LH203 S-210	150
6	Scooptram Tamrock LH203 S-211	150
7	Scooptram Tamrock LH203 S-212	150
8	Jumbo Diésel Resemin Mukki FF J115	75
9	Jumbo Diésel Resemin Mukki FF J120	74
10	Jumbo Diésel Resemin Mukki LHP J119	74
11	Kubota KU-21	22

Nota. Adaptado de base de datos de máster de equipos de la mina Manuelita.

Área promedio del Stope: 3 m. x 4 m.

Concentración máxima permisible 14.20

Número de frentes disparados máximo: 25

Área promedio por cada nivel: 4 m. x 4 m.

Velocidad mínima del aire (uso de anfo) para temperaturas mayores de 30 °C es de 25 m/min.

Personas por guardia entre la compañía minera y empresas especializadas:110

Equipos que funcionan a motor diésel:11

3.6.2.2 Cálculo de caudal

3.6.2.2.1 Número de personas

Según el artículo N.º247 del reglamento de seguridad y salud ocupacional de minería, establece que, para una altitud mayor a los 4000 m.s.n.m., el caudal mínimo a utilizar es de 6 m³/min. Para este caso se tienen 110 personas.

El caudal total requerido por el número de personas se calculó usando la ecuación 8:

$$Q_{Tr} = 6 \text{ m}^3/\text{min} \times 110$$

$$Q_{Tr} = 660 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Tr} = 23,308 \text{ CFM}$$

3.6.2.2.2 Temperatura efectiva

En el punto 3.6.1.1.2 tenemos que para temperaturas mayores de 30 °C se requiere una velocidad mínima de 25 m/min, se procederá a calcular el área del túnel.

Sabemos que el área promedio de la mina es de 4 metros de altura y 4 metros de ancho, por lo tanto, es un cuadrado:

$$A = L^2$$

$$A = 4^2 = 16\text{m}^2$$

Usando la ecuación 9:

$$Q_{Te} = 25 \text{ m}/\text{min} \times 16 \text{ m}^2$$

$$Q_{Te} = 400 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{Te} = 14,124 \text{ CFM}$$

3.6.2.2.3 Equipos diésel

Adjunta tabla de equipos diésel indicando HP de cada equipo, disponibilidad mecánica y factor de utilización.

Tabla 10

Tabla de Equipos a Diésel Indicando la Potencia, Disponibilidad y Factor de Utilización

#	Equipos Diésel	HP	Disponibilidad Mecánica	Factor de Utilización
1	Microscooptram Tamrock LH201D (0.7yd3) S-111	58	0.9198	0.3
2	Microscooptram Tamrock LH 203 (2.2yd3) S-209	150	0.968	0.3
3	Microscooptram Tamrock LH-201D (0.7yd3) TM31	58	0.96	0.8
4	Scooptram Tamrock LH203D (2.2yd3) TM43	150	0.9283	0.8
5	Scooptram Tamrock LH203 S-210	150	0.8814	0.8
6	Scooptram Tamrock LH203 S-211	150	0.8563	0.8
7	Scooptram Tamrock LH203 S-212	150	0.7966	0.1847
8	JUMBO DIESEL RESEMIN MUKI FF J115	75	0.9413	0.7807
9	JUMBO DIESEL RESEMIN MUKI FF J120	74	0.7566	0.6105
10	JUMBO DIESEL MUKI LHP J119	74	0.825	0.6996
11	Kubota KU-21	22	0.8427	0.6022

Nota. Adaptado de reporte de horómetros 2018.

La sumatoria de total de Hp de los 11 equipos es:

Total de equipos diésel = 58+150+58+150+150+150+150+75+74+74+22

Total de equipos diésel = 1111 HP

Según el artículo N.º24 del reglamento de seguridad y salud ocupacional de minería, establece que el caudal mínimo requerido por cada HP de un equipo sea de 3m³/min.

Se realizará el cálculo usando la ecuación 10:

$$Q_1 = 58 \times 3 \times 0.9198 \times 0.3$$

$$Q_1 = 48.01 \text{ m}^3/\text{min} = 1,696 \text{ CFM}$$

$$Q_2 = 150 \times 3 \times 0.968 \times 0.3$$

$$Q_2 = 130.68 \text{ m}^3/\text{min} = 4,6515 \text{ CFM}$$

$$Q_3 = 58 \times 3 \times 0.96 \times 0.8$$

$$Q_3 = 133.68 \text{ m}^3/\text{min} = 4,719 \text{ CFM}$$

$$Q_4 = 150 \times 3 \times 0.93 \times 0.8$$

$$Q_4 = 334.19 \text{ m}^3/\text{min} = 11,802 \text{ CFM}$$

$$Q_5 = 150 \times 3 \times 0.88 \times 0.8$$

$$Q_5 = 317.30 \text{ m}^3/\text{min} = 11,205 \text{ CFM}$$

$$Q_6 = 150 \times 3 \times 0.86 \times 0.8$$

$$Q_6 = 308.27 \text{ m}^3/\text{min} = 10,886 \text{ CFM}$$

$$Q_7 = 150 \times 3 \times 0.8 \times 0.18$$

$$Q_7 = 66.21 \text{ m}^3/\text{min} = 2,338 \text{ CFM}$$

$$Q_8 = 75 \times 3 \times 0.94 \times 0.78$$

$$Q_8 = 165.35 \text{ m}^3/\text{min} = 5,839 \text{ CFM}$$

$$Q_9 = 74 \times 3 \times 0.76 \times 0.61$$

$$Q_9 = 102.54 \text{ m}^3/\text{min} = 3,621 \text{ CFM}$$

$$Q_{10} = 74 \times 3 \times 0.83 \times 0.70$$

$$Q_{10} = 128.13 \text{ m}^3/\text{min} = 4,525 \text{ CFM}$$

$$Q_{11} = 22 \times 3 \times 0.83 \times 0.60$$

$$Q_{11} = 33.49 \text{ m}^3/\text{min} = 1,183 \text{ CFM}$$

El caudal total es suma de todos los caudales por cada equipo:

$$Q_{Eq} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{11}$$

$$Q_{Eq} = 1,696 + 4,615 + 4,719 + 11,802 + 11,205 + 10,886 + 2,338 + 5,839 + 3,621 + 4,525 + 1,183$$

$$Q_{Eq} = 62,429.59 \text{ CFM}$$

3.6.2.2.4 Gases y número de explosivos

Según el artículo N.º 247 del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, establece que se tiene que cumplir que la velocidad mínima del aire cuando se utilicen explosivos debe ser 25 m/min.

Se tiene que el área promedio del Stope es de 3.5 m. x 4 m. y el número de frentes disparados máximo es de 25.

Caudal requerido para remover el CO = 117.67 m³/min = 4154.86 CFM

Se tiene que incluir el número de disparos que son 25 y el número de guardias que son 2.

Usando la ecuación 12:

Caudal requerido para el número de explosivos = $117.67 \times 2 \times 25 = 5,883.40 \text{ m}^3/\text{min}$
 $= 207,770.26 \text{ CFM}$

$Q_{Ex} = 4154.86 + 20770.26 = 211,926 \text{ CFM}$

3.6.2.2.5 Caudal requerido de gases y polvo en suspensión

Para determinar este caudal de aire se toma como criterio la fijación de la velocidad en las labores, que según el artículo N.º247 del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería, establece que en ninguna circunstancia la velocidad del aire este en el rango de 20 m/min - 250 m/min como mínimo y máximo respectivamente en los lugares donde se esté realizando alguna actividad dentro de la operación, para que el personal pueda trabajar en buenas condiciones.

Después de haber realizado la evaluación de los caudales por el número de personal, equipos a diésel y tronadura. Se calculó el caudal total.

El caudal total que se requirió al final del ducto es:

$$Q_G = Q_{Tr} + Q_{Eq}$$

$$Q_G = 62,429.59 + 23,308$$

$$Q_G = 85,737.59 \text{ CFM} = 40.46 \text{ m}^3/\text{s}$$

Luego de haber determinado el caudal total, se procedió con el caudal final, tomando en consideración las pérdidas, usando la ecuación 19:

Donde:

Q - Caudal de trabajo (m³/s).

L - Longitud equivalente (m).

F - factor de fuga de la tubería otorgado por el fabricante (%).

Para nuestro caso, este valor es considerado como 1%, debido al material del que está compuesto la tubería.

Para determinar el diámetro óptimo se tiene en cuenta los siguientes aspectos: El área de la mina es de 4 m. x 4 m., el equipo más grande que tenemos mide 1.7 m y el menor costo de consumo de energía por año. Entonces se considera un radio de la tubería de 1.1 m

$$D=2r=2.2 \text{ m}$$

$$L=5 \text{ m}$$

$$Q= 40.46 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$g= 9.81 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi r^2}{2}} = \frac{40.46}{3.8} = 10.64 \text{ m/s}$$

Para calcular el factor f se considera la siguiente tabla:

Tabla 11

Coefficiente de Fricción Según el Material del Tipo de Ductos

Tipo de Ducto	Coefficiente de Fricción
Ducto de acero	
Con espiral, galvanizada	0.007
Ducto de acero dulce, lámina lisa	0.005
Ducto de fibra de vidrio	0.005
Ducto forzado /bolsa	
Ducto ligero	0.05
Ducto pesado - chico	0.07
Ducto de casete TBM	0.07
Ventilación de frente - Muy mala instalación	0.042
Ducto Flexible Reforzado	
Extracción flexible - excelente instalación	0.007
Extracción flexible - flojo	0.017

Nota. Adaptado de apuntes de clase de Profesor Ordóñez del curso de ventilación industrial.

Para nuestro caso consideramos $f=0.007$

$$L = 0.007 \times \frac{5}{2.2} \times \frac{10.64^2}{2 * 9.81} = 0.09 \text{ m}$$

Pero la longitud del túnel es de 50 m.

$$L = 0.09 + 50 = 50.09 \text{ m}$$

Ahora reemplazamos los valores con los cuales se obtuvo el valor de caudal final y reemplazamos estos valores en la ecuación 19:

$$Q_{final} = 40.46 \left(1 - \frac{1}{100}\right)^{-\left(\frac{50.09}{100}\right)}$$

$$Q_{final} = 40.66 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{final} = 86,153.74 \text{ CFM}$$

Tabla 12

Cuadro Resumen de Caudal Requerido

Cuadro Resumen	CFM
Caudal requerido por de número de personas	23,308.00
Caudal requerido por Temperatura efectiva	14,124.00
Caudal requerido por equipos diésel	62,429.59
Caudales requeridos por gases y número de explosivos	211,926.00
Caudal requerido por desprendimiento de gases y polvo en suspensión	86,153.74
Total	397,941.33

Nota. Fuente propia

Tabla 13

Balance de Caudal en la Zona del Proyecto

Balance de Caudal	CFM
Ingreso de Caudal	207,097.18
Salida de Caudal	397,941.74
Total	190,844.56

Nota. Fuente propia

Según el balance de caudal en la zona del proyecto se tuvo que extraer 190,844.56 CFM.

3.6.3 Cálculo de caída de presión

3.6.3.1 *Perdidas por fricción*

La caída de presión se realiza mediante la siguiente ecuación de Atkinson:

$$C = \pi \times (2.2) = 6.9 \text{ m} = 22.6 \text{ pies}$$

$$L = 50.09 \text{ m} = 164.3 \text{ pies}$$

$$Q = 190,844.56 \text{ CFM}$$

$$A = 3.8 \text{ m}^2 = 40.90 \text{ pies}^2$$

Ahora reemplazamos en la ecuación 15:

$$\Delta p = \frac{4 \times 22.6 \times 164.3 \times 190,844.56^2}{40.90^3 \times 10^9}$$

$$\Delta p = 7.9 \text{ InH}_2\text{O}$$

Adicionalmente, se considera un factor de seguridad en las pérdidas de presión por fricción tanto en la salida como en la entrada del ventilador.

$$\text{Perdidas por fricción en la entrada} = 5.5 \% \Delta p = 0.43 \text{ InH}_2\text{O}$$

$$\text{Perdidas por fricción en la salida} = 2.7 \% \Delta p = 0.21 \text{ InH}_2\text{O}$$

Entonces:

$$\Delta p \text{ total por fricción} = \Delta p + \text{perdidas en la entrada} + \text{perdidas en la salida}$$

$$\Delta p \text{ total por fricción} = 0.43 + 0.21 + 7.9 = 8.55 \text{ InH}_2\text{O}$$

3.6.3.2 Presión dinámica

Reemplazando la ecuación 14 en la ecuación 17:

Dato:

D= 2.2 m

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2}$$

$$V = \frac{4 \times 90.1}{\pi \times 2.2^2} = 23.7 \text{ m/s}$$

$$V=77.7 \text{ pies/s}$$

$$g= 9.81 \text{ m/s}^2 = 32.16 \text{ pies/s}^2$$

$$\rho=0.75 \text{ Kg/m}^3=0.046 \text{ lb/pie}^3$$

Reemplazando la ecuación:

$$\Delta p_{din} = 0.046 \times \frac{77.7^2}{2 \times (32.16)}$$

$$\Delta p_{din} = 4.3 \text{ InH2O}$$

La presión total es:

$$\Delta p_T = \Delta p_f + \Delta p_{din} = 8.55 + 4.3 = 12.85 \text{ InH2O}$$

3.6.4. Cálculo de la Potencia del ventilador

Se tiene como datos los siguientes valores:

$$p=12.85 \text{ In H}_2\text{O}$$

$$Q=190 \text{ kcfm}$$

$$a= 5.2$$

$$b= 33$$

$$\eta= 96\%$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 21:

$$BHP = \frac{12.85 \times 190 \times 5.2}{33 \times 0.96}$$

$$BHP = \frac{12695.8}{31.68}$$

$$BHP = 400 \text{ Kw}$$

3.6.5. Selección del ventilador

$$Q_{\text{requerido}} = 190844.56 \text{ CFM}$$

$$\Delta p_T = 12.85 \text{ InH}_2\text{O}$$

Se consideró un 9% adicional en el caudal por contingencia, esto de acuerdo con las políticas de la empresa.

$$Q_{\text{requerido}} = 190844.56 + 9\% (190844.56) = 200,000 \text{ CFM}$$

Se consideró un ventilador de tipo axial debido a la cantidad de aire que tiene que extraer el ventilador a una baja presión.

Se estableció como proveedor a la empresa Zitron debido a la confiabilidad de los ventiladores que se adquirió durante los últimos 5 años en la empresa.

Se proporcionó los parámetros de diseño a la empresa especializada y recomendó utilizar el ventilador Zitron modelo ZVN 1-22-400/6. Este modelo fue aceptado por la gerencia de operaciones.

Tabla 14

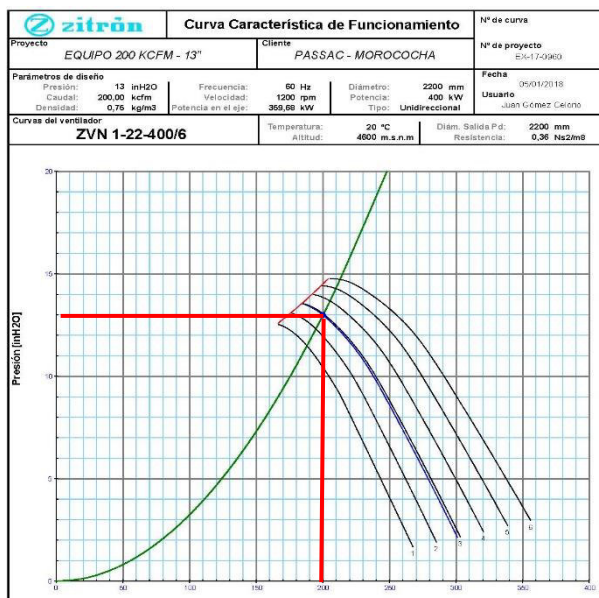
Tabla de Parámetros de Diseño del Ventilador

Parámetros de diseño	
Presión	12.85 inH2O
Caudal	200,000 CFM
Densidad	0.75 Kg/m ³
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1200 rpm
Potencia del eje:	359,68 kW
Diámetro	2.2 m
Potencia	400 kW
Tipo	Unidireccional

Nota. Adaptado de informe final del proyecto de ventilación de la mina Manuelita

Figura 14

Curva de Ventilador Zitron ZVN 1-22-400/6



Nota. Curva característica del ventilador entregado por la empresa Zitron a Compañía minera Argentum

3.6.6 Resultados

Después de la fabricación e instalación del Ventilador Axial Zitron Modelo ZVN 1-22-400/6 en el 2019, se procedió con la medición de caudal que extrae el ventilador en tiempo real debido a los sensores, así mismo de la automatización del proyecto. La cual se realizó de manera automática, porque el ventilador cuenta con sensores que miden la cantidad de aire extraído en CFM y este es almacenada en una base de datos.

La medición de aire extraído se realizó durante los meses de julio del 2019 al mes de diciembre de 2019. Con el objetivo de verificar el requerimiento de aire que ingresa a la mina sea el exigido por la operación. Estos valores se pueden visualizar en la tabla 15.

Tabla 15

Requerimiento de Aire en la mina Manuelita 2019

	Jul-19	Ago-19	Set-19	Oct-19	Nov-19	Dic-19
Ingreso de aire	202,460	206,420	213,120	210,860	199,740	197,520
Requerimiento de aire	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000
Cobertura %	101%	103%	107%	105%	99.87%	98.76%

Nota. Adaptado de informe de datos extraídos del sensor de ventilador Axial Zitron

Con los datos obtenidos después de la instalación, así como la puesta en marcha del ventilador, se puede mencionar que se ha cumplido con el requerimiento de aire que exigió las operaciones durante los 6 meses de su operación y además que la extracción de aire viciado en la mina Manuelita se ha incrementado en un 60.70% con respecto del año 2017, en el cual se obtuvo como promedio una extracción de aire viciado de 78,599 CFM (ver tabla 1), además en el año 2019 en promedio 200,000 CFM de aire extraído (ver tabla 15).

IV CONCLUSIONES

- A fin de obtener los valores de diseño del ventilador axial principal en la mina Manuelita para la compañía minera Argentum, se calcularon y obtuvieron los valores de diseño para caudal, presión total de diseño y potencia de diseño del ventilador los cuales serán detallados en los siguientes párrafos.
- Con la finalidad de calcular el caudal de diseño, se inició teniendo en consideración los lineamientos que rigen las normas nacionales vigentes establecidas en el D.S.024-2016-EM y su modificatoria D.S.023-2017-EM, las cuales incluyen la determinación del requerimiento del caudal según la cantidad de personas, 23308 CFM, el número de equipos 62,429.59 CFM, la temperatura efectiva 14,124 CFM, el número de explosivos para la voladura 211,926 CFM y además por desprendimiento de gases y polvo en suspensión 86,153.74 CFM, consiguiendo un caudal total de salida de 397941.33 CFM. Con este se realizó un balance de carga con el caudal de ingreso de 207097.18 CFM, lo cual determinó un caudal de 190844.56 CFM por ingresar a la mina para satisfacer las condiciones de operación.
- Para el cálculo de la caída de presión del ventilador principal, se partió del caudal de diseño del ventilador, 190844.56 CFM, de acuerdo con lo especificado con el D.S.024-2016-EM y su modificatoria D.S.023-2017-EM, se utilizó la ecuaciones para determinar las pérdidas de presión en el sistema obteniéndose una caída de presión por fricción $\Delta p_f = 8.55 \text{ InH}_2\text{O}$ y perdidas por presión dinámica $\Delta p_{din} = 4.3 \text{ InH}_2\text{O}$, lo que deriva en el valor total de la caída de presión que debe vencer el ventilador es de 12.85 InH₂O.
- Con los valores que se determinaron para extraer el caudal requerido por las operaciones y para poder vencer las presiones que requiere el ventilador en la mina, se determinó la potencia de diseño que va a necesitar para su funcionamiento el cual es de 402.4 Kw.

V BIBLIOGRAFÍA

Compañía Minera Argentum. (2017). Informe de medición de caudales en la mina manuelita 2017. Área de Planeamiento Mina.

Compañía Minera Argentum. (2018). Informe de máster de equipos de la Mina Manuelita. Área de Mantenimiento y Energía.

Compañía Minera Argentum. (2018). Informe final de proyecto de ventilación de la Mina Manuelita. Área de planeamiento mina.

Compañía Minera Argentum. (2019). Informe de datos extraídos del sensor de ventilador axial principal de la Mina Manuelita. Área de planeamiento mina.

Dixon SL, Pasillo SL (2014). Mecánica de fluidos y termodinámica de turbomáquinas.

Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124159549/fluid-mechanics-and-thermodynamics-of-turbomachinery>

García Pérez, M. (2011). Turbomáquinas hidráulicas. Recuperado de:

https://unac.edu.pe/images/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/2011/Noviembre/IF_GARCIA%20PEREZ_FIEE.pdf

Ian k. Smith, Nikola Stosic y Ahmed Kovacevic. (2014). Power Recovery from Low Grade

Heat by Means of Screw Expanders. Recuperado de:

<https://www.sciencedirect.com/book/9781782421894/power-recovery-from-low-grade-heat-by-means-of-screw-expanders>

Jiménez Ascanio, P. (2011). Ventilación de minas subterráneas y túneles: práctica, aplicada avanzada en minería clásica y minería por trackless. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.

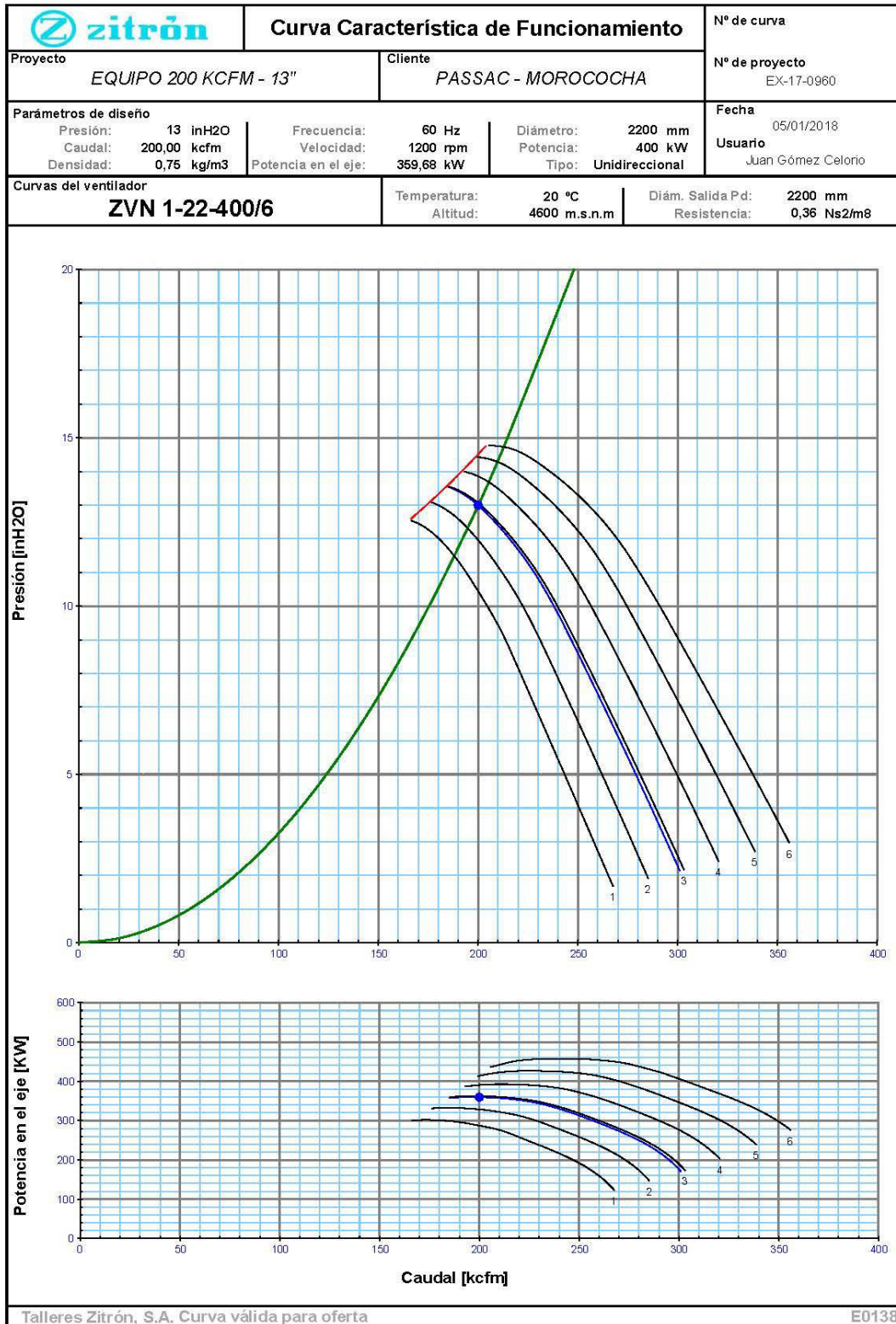
MINEM. (2020). Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería. Recuperado de:

<https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/LIBROS/RSSO/RSSO2020.pdf>

- Novitsky, Alejandro. (1962). Ventilación de minas: ventiladores para mina, acondicionamiento del aire, incendios subterráneos y salvamento. Universidad Nacional de Cuyo.
- Ordóñez, J. (2014). Apuntes de clase del curso de ventilación industrial. UNSMM.
- Osinermin. (2020). Boletín estadístico de la gerencia de supervisión minera: Accidentes Mortales. Recuperado de:
https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/estadisticaseindicadores/accidentes-mortales/Boletin-GSM-Accidentes-Mortales-2020-01.pdf
- Panamerican Silver. (2022). Misión y visión. Recuperado de:
<https://www.panamericansilver.com/es/company/vision-values/#:~:text=Nuestra%20visi%C3%B3n%20es%20ser%20el,partir%20de%20activos%20de%20calidad.>
- Soler & Palau. (2020). Capítulo 6: características y clasificación. Recuperado de:
<https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/mven/Capitulo%206%20Manual%20de%20Ventilacion.pdf>
- Soler & Palau. (2022). Fórmula para calcular el caudal (con y sin normativa). Recuperado de: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/formula-caudal/#:~:text=Se%20puede%20definir%20el%20caudal,secci%C3%B3n%20por%20unidad%20de%20tiempo.>
- Ureta Molina, I. (2019). Instalación del sistema de ventilación del túnel de conducción subterráneo de minas – minera Milpo andina. Recuperado de:
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5523/INFORME%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VII ANEXOS

ANEXO A -CURVA CARACTERÍSTICA DEL VENTILADOR



Talleres Zitrón, S.A. Curva válida para oferta

E0138

ANEXO B

PLANOS DEL VENTILADOR ZITRON

