

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN EN EL TÚNEL DE LA PLANTA CHANCADORA PARA DISMINUIR LA POLUCIÓN DE MINERAL EN EL CAMPAMENTO DE SAN NICOLÁS EN LA MINA SHOUGANG HIERRO PERÚ, SAN JUAN DE MARCONA – ICA, 2016”

PRESENTADO POR EL BACHILLER

VICTOR AUGUSTO CAMACHO SANCHEZ

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO**

AREQUIPA – PERÚ

2018

A Dios por darme vida, paz y sabiduría. Muy especial y con mucho amor a mi abuela Luisa y a mis abuelos Sigifredo y César, a mi madre Rosario y mi padre Sigifredo, a mis hermanas Cristina y Ángela y a todos los que creyeron y siempre estuvieron conmigo y me dieron ganas y ánimos para salir adelante y culminar mi carrera.

A mi alma mater Universidad Alas Peruanas – Filial Arequipa. De una manera muy especial,
a los ingenieros Juan Abad Gutiérrez y Renzo Molina por brindarme su conocimiento y
experiencia para poder culminar mi proyecto de tesis.

A toda mi familia, por brindarme su apoyo moral e incondicional.

RESUMEN

La presente tesis está orientada a proponer un sistema de ventilación para disminuir la polución de mineral dentro del túnel de la planta chancadora en la minera Shougang Hierro Perú ubicada en el puerto de San Juan de Marcona – Ica.

En esta propuesta de sistema de ventilación se trabajará con un ventilador axial de 17 100 CFM, ubicado a la entrada del túnel, el ventilador será de la marca AIRTEC S.A. El ventilador tendrá una potencia de 63 Hp, el tendido de la manga de ventilación será de 600 metros, propiamente el tendido tendrá un dámper de regulación de aire, dos reducciones ubicadas cada 200 metros porque el tendido de manga se seccionará en 3 partes: el primer tramo con un diámetro de manga de 1500 mm y 200 metros de longitud, el segundo tramo con un diámetro de manga de 750 mm y un tendido de manga de 200 metros de longitud y el tercer tramo con un diámetro de manga de 500 mm y un tendido de manga de 200 metros, el sistema de ventilación constará con once accesorios de tipo T, ubicados a 50 metros de distancia.

La minera Shougang Hierro Perú explota hierro. Por el túnel se transporta mineral, pasan aproximadamente 150 t/h proveniente de la chancadora primaria ubicada en el campamento denominado la Mina; el túnel tiene una longitud de 900m, una altura de 4m y un ancho de 3m

Con esta propuesta de sistema de ventilación se logrará disminuir la polución de mineral de 60 ppm a 33 ppm dentro del túnel de planta chancadora logrando con esto que mejore la eficiencia y rendimiento del trabajador y de las máquinas y equipos que hay dentro del túnel.

El costo total del sistema será de \$ 70,500.97 lo cual incluye diseño de proyecto, montaje y puesta en marcha del proyecto, ventilador y accesorios y mano de obra.

El tiempo de duración del proyecto será de 60 días aproximadamente, teniendo en cuenta que parte desde un estudio previo hasta el funcionamiento del proyecto.

PALABRAS CLAVES: Ventilación, polución, ventilador, axial, dámper, chancadora, manga, hierro, sistema, minera

ABSTRACT

This thesis is aimed at improving working conditions in order to comply with current laws and current legal regulations, which is Supreme Decree No. 024 -2016.

With this proposal of ventilation system will be achieved to reduce the mineral pollution of 60 ppm, which is a maximum of 50 parts per million.

In this proposal of ventilation system will work with an axial fan of 17 100 CFM, located at the entrance of the tunnel, the fan will be of the brand AIRTEC S.A. The fan will have a power of 63 Hp, the laying of the ventilation sleeve will be 600 meters, properly the laying will have an air regulation damper, two reductions located every 200 meters because the sleeve will be divided into 3 parts: the first section with a sleeve diameter of 1500 mm and 200 meters in length, the second section with a sleeve diameter of 750 mm and a sleeve length of 200 meters in length and the third section with a sleeve diameter of 500 mm and A 200 meters long sleeve, the ventilation system will consist of eleven T-type accessories, located 50 meters away.

The mining company Shougang Hierro Perú exploits iron. Through the tunnel, ore is transported, passing approximately 150 t / h from the primary crusher located in the camp called La Mina; the tunnel has a length of 900m, a height of 4m and a width of 3m.

With this proposal for a ventilation system, it will be possible to reduce the mineral pollution from 60 ppm to 33 ppm within the tunnel of the crushing plant, thereby improving the efficiency and performance of the worker and the machines and equipment inside the tunnel.

KEY WORDS: Ventilation, pollution, fan, axial, damper, crusher, hose, iron, system, mining

INTRODUCCIÓN

Esta tesis está orientada a mejorar las condiciones de trabajo con la finalidad de cumplir con las leyes vigentes y normativa legal actual, la cual es el Decreto Supremo N° 024 -2016.

Con esta propuesta de sistema de ventilación se logrará disminuir la polución de mineral de 60 ppm, los cuales son como máximo de 50 partes por millón.

En esta propuesta de sistema de ventilación se trabajará con un ventilador axial de 17 100 CFM, ubicado a la entrada del túnel, el ventilador será de la marca AIRTEC S.A. El ventilador tendrá una potencia de 63 Hp, el tendido de la manga de ventilación será de 600 metros, propiamente el tendido tendrá un dámper de regulación de aire, dos reducciones ubicadas cada 200 metros porque el tendido de manga se seccionará en 3 partes: el primer tramo con un diámetro de manga de 1500 mm y 200 metros de longitud, el segundo tramo con un diámetro de manga de 750 mm y un tendido de manga de 200 metros de longitud y el tercer tramo con un diámetro de manga de 500 mm y un tendido de manga de 200 metros, el sistema de ventilación constará con once accesorios de tipo T, ubicados a 50 metros de distancia.

La minera Shougang Hierro Perú explota hierro. Por el túnel se transporta mineral, pasan aproximadamente 150 t/h proveniente de la chancadora primaria ubicada en el campamento denominado la Mina; el túnel tiene una longitud de 900m, una altura de 4m y un ancho de 3m

Con esta propuesta de sistema de ventilación se logrará disminuir la polución de mineral de 60 ppm a 33 ppm dentro del túnel de planta chancadora logrando con esto que mejore la eficiencia y rendimiento del trabajador y de las máquinas y equipos que hay dentro del túnel.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
CAPÍTULO I	1
ESTRUCTURA DE LA TESIS	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y FUENTES PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	2
1.2.1 Técnicas.....	2
1.2.2 Instrumentos	3
1.2.3 Fuentes	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.3.1 Justificación teórica.....	3
1.3.2 Justificación ambiental.....	4
1.3.3 Justificación económica	4
1.4 PROBLEMAS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1 Problema general.....	4
1.4.2 Problemas específicos	4
1.5 OBJETIVOS	5
1.5.1 Objetivos generales	5
1.5.2 Objetivos específicos	5
1.6 HIPÓTESIS	5
1.6.1 Hipótesis general	5
1.6.2. Hipótesis específicos	5
1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.7.1 Necesidades del ambiente	6
1.7.2 Densidad máxima permisible	6
1.8 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	7
1.9 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8

1.10 TIPO DE INVESTIGACIÓN	8
1.11 VARIABLES	8
1.11.1 Variable independiente.....	8
1.11.2 Indicadores	8
1.12 VARIABLE DEPENDIENTE	8
1.12.1 Indicadores	9
1.13 MOTIVACIÓN	9
1.14 LIMITACIONES	9
CAPÍTULO II.....	10
MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 POLUCIÓN.....	10
2.2 ¿CÓMO AFECTA LA POLUCIÓN AL SER HUMANO?	11
2.3 PARÁMETROS PERMISIBLES RESPIRABLES DE POLUCIÓN EN LA MINERÍA	12
2.4 ¿CÓMO SE MIDE EL ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN DENTRO DE UNA MINA?	12
2.5 EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	13
2.6 SALUD OCUPACIONAL.....	16
2.7 MÁXIMA CONCENTRACIÓN PERMISIBLE PARA EL SER HUMANO	17
2.8 VENTILACIÓN MINERA (RECOMENDACIONES)	17
2.9 LA HIGIENE DEL AIRE EN FÁBRICAS Y MINAS	18
2.10 PROPAGACIÓN DE LOS CONTAMINANTES	19
2.11 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE VENTILACIÓN.....	20
2.12 EL AIRE EN LAS MINAS	21
2.13 DENSIDAD DEL AIRE EN UNA MINA.....	22
2.14 DIFERENCIA DEL PRESIÓN DEL AIRE	22
2.15 RESISTENCIA AL MOVIMIENTO DEL AIRE.....	22
2.16 PRESIÓN DINÁMICA EN EL TÚNEL	23
2.17 POTENCIA DE LA ENERGÍA.....	23
2.18 REGULADORES DE VENTILACIÓN	24
2.19 FLUJO DEL AIRE.....	24
2.20 FLUJO DE AIRE EN PARALELO	25
2.21 FLUJO DE AIRE EN SERIE.....	25
2.22 VENTILACIÓN NATURAL.....	26

2.23 VENTILACIÓN MECÁNICA	26
2.24 CAUDAL TOTAL EN EL DUCTO DE LA MINA.....	26
2.25 CHORROS CIRCULARES LIBRES DE AIRE.....	27
2.26 CHORROS LIBRES PLANOS.....	28
2.27 CHORROS QUE SE PROPAGAN SOBRE UNA PARED PLANA	30
2.28 ACCIÓN RECÍPROCA ENTRE CHORROS	31
2.29 CHORROS CONFINADOS EN UN RECINTO ISOTÉRMICO	34
2.30 SALIDA DEL AIRE	34
2.31 DISTANCIA MÁXIMA ENTRE SALIDAS DE AIRE.....	37
2.32 BOCAS DE SALIDA CON DEFLECTORES TRANSVERSALES A LA CORRIENTE	37
2.33 VENTILADORES	38
2.34 TIPOS DE VENTILADORES	38
2.35 SELECCIÓN DE VENTILADORES	40
2.36 CURVA CARACTERÍSTICA DE MINA SUBTERRÁNEA	40
2.37 SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO	41
2.38 VARIADORES DE VELOCIDAD	41
2.39 TECNOLOGÍA DE LOS VENTILADORES AXIALES.....	42
2.40 TIPOS DE CONFIGURACIÓN DE UN VENTILADOR AXIAL.....	43
2.41 COMPARATIVA DE VENTILADORES AXIALES FRENTE A VENTILADOR CENTRÍFUGOS (AXIALES)	44
2.42 COMPONENTES DE VENTILADORES AXIALES	45
2.43 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN VENTILADOR	47
2.44 CIRCULACIÓN DEL AIRE	48
2.45 VENTILADORES AXIALES, DESCRIPCIÓN Y CURVAS DE OPERACIÓN....	48
2.46 DISEÑO DE DUCTOS.....	50
2.47 PÉRDIDA POR FRICCIÓN	50
2.48 VELOCIDAD DE TRANSPORTE	51
2.49 PÉRDIDAS EN TRAMOS RECTOS	52
2.50 VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE	52
2.50.1 Tuberías rectangulares, cuadradas y redondas	53
2.51 PÉRDIDAS EN ACCESORIOS O LOCALIZADAS	53
2.51.1 Método de longitudes equivalentes	54
2.52 CÁLCULO DE DUCTOS.....	55

2.52.1 Bosquejo del procedimiento de diseño de ductos	55
2.53 NECESIDADES DE CÁLCULO SISTEMÁTICO	56
2.54 MÉTODOS DE CÁLCULO	57
2.55 NORMATIVA Y LEYES	59
CAPÍTULO III.....	65
DISEÑO Y CÁLCULOS TÉCNICOS.....	65
3.1 CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE AIRE PARA EL PERSONAL DENTRO DEL TÚNEL.....	67
3.2 CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE AIRE PARA LOS EQUIPOS DENTRO DEL TÚNEL.....	68
3.3 CÁLCULO DE LA DIFERENCIA DE PRESIÓN	69
3.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA PARA LA SELECCIÓN DEL VENTILADOR	71
3.5 SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA.....	72
3.5.1 TRAMO 1	72
3.5.2 TRAMO 2	73
3.5.3 TRAMO 3	73
3.6 TRAMO 1 DE REDUCCIÓN ENTRE MANGA DE 1 500 MM Y MANGA DE 750 MM	73
3.7 TRAMOS 2 DE REDUCCIÓN, ENTRE MANGA DE 750 MM Y MANGA DE 500 MM	74
3.8 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL EN CADA ACCESORIO DE TIPO T PARA DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE SALIDA	74
3.9 CÁLCULO DE LA PRESIÓN TOTAL DEL VENTILADOR AXIAL	76
3.9.1 Ecuación para calcular la pérdida en las manga flexible del ducto I	79
3.9.2 Ecuación para calcular la pérdida en la manga flexible del ducto 2	80
3.9.3 Ecuación para calcular la pérdida en la manga flexible del ducto 3	80
3.10 CATÁLOGO DE FABRICANTE AIRTEC S.A.C.	81
3.11 PÉRDIDAS EN ACCESORIOS	81
3.11.1 Pérdidas en los accesorios tipo ‘‘T’’	81
3.11.2 Pérdida en dámper.....	83
3.11.3 Pérdida en la reducción	83
3.12 PÉRDIDAS A LA ENTRADA Y SALIDA DEL VENTILADOR.....	84
3.13 CARGA TOTAL DEL VENTILADOR	85
3.13.1 Presión dinámica (delta p dinámica).....	85

3.14 SELECCIÓN DEL VENTILADOR	86
3.15 INSTALACIÓN DEL VENTILADOR	87
3.16 DATOS DE LA MANGA.....	88
3.16.1 Peso de la manga	89
3.16.2 Accesorios	90
3.17 SISTEMA DE ACOPLES.....	90
3.17.1 Sistema de suspensión	90
3.17.2 Soporte de los conductos horizontales	91
3.17.3 Sistema de soporte.....	91
3.17.4 Tabla para dimensiones y separación de soportes para conductos rectangulares	92
3.17.5 Tabla de dimensiones y soportes para conductos circulares	93
3.17.6 Tabla para máxima carga por cada platina y varilla.....	93
3.17.7 Resistencia de soportes.....	94
3.17.8 Imágenes de anclajes	95
3.17.9 Cálculo del torque y resistencia del perno por criterio de relación de par de torsión en la tensión del perno.....	95
3.18 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL NECESARIO PARA DISMINUIR LA POLUCIÓN.....	96
3.19 CRITERIOS Y GENERALIDADES	97
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES.....	100
BIBLIOGRAFÍA	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Cámara de sedimentación.....	14
Figura 2.2. Ciclones.....	14
Figura 2.3. Filtro de bolsa.....	15
Figura 2.4. Bomba de aspiración de polvo.....	16
Figura 2.5. Dámper de accionamiento manual.....	24
Figura 2.6. Esquema de ventilación en serie	25
Figura 2.7. Chorros axisimétrico.....	27
Figura 2.8. Representación de un chorro plano.....	29
Figura 2.9. Generalización de la distribución de velocidades en un chorro plano.....	30
Figura 2.10. Acción mutua entre chorros.....	32
Figura 2.11. Chorros procedentes de orificios situados en un círculo.....	32
Figura 2.12. Velocidad axial relativa en chorros anulares a distintas distancias.....	33
Figura 2.13. Suspensión de chorros confluyentes.....	34
Figura 2.14. Diversos tipos de bocas para descarga de aire.....	36
Figura 2.15. Instalaciones para ensayar bocas de salida.....	36
Figura 2.16. Salida con una sola placa deflectora	37
Figura 2.17. Ventilador industrial.....	39
Figura 2.18. Ventilador centrífugo.....	39
Figura 2.19. Curva característica de ventilación de una mina	41
Figura 2.20. Diagrama de ventilación.....	42
Figura 2.21. Diagrama de salida de aire.....	43
Figura 2.22. Formas de salida de aire de ventiladores.....	44
Figura 2.23. Partes de un ventilador.....	47
Figura 2.24. Curvas características de un ventilador.....	47
Figura 2.25. Curva de operación de ventiladores.....	49
Figura 3.1. Reducción entre mangas.....	83
Figura 3.2. Montaje de ventilador.....	88
Figura 3.3. Modelos de acoples.....	90
Figura 3.4. Anclaje para ductos circulares.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Niveles máximos permisibles de monóxido de carbono a nivel mundial.....	7
Tabla 2.1. Enfermedades producidas por deficiencia o toxicidad de elementos esenciales en minería.....	11
Tabla 2.2. Cuadro de máximos niveles permisibles en minería en ppm.....	12
Tabla 2.3. Condiciones ambientales propuestas para trabajadores de la industria y minería..	19
Tabla 2.4. Composición del aire dentro de una mina	21
Tabla 2.5. Leyes de chorro circular.	28
Tabla 2.6. Leyes de chorro plano.....	29
Tabla 3.1. Altitud y temperaturas.....	67
Tabla 3.2. Total de aire que requiere el personal dentro del túnel.....	67
Tabla 3.3. Aire requerido por equipos dentro del túnel.	68
Tabla 3.4. Factores de fricción para vías de ventilación de una mina.....	71
Tabla 3.5. Cartilla de fricción en mangas flexibles de PVC.....	77
Tabla 3.6. Factores de corrección por altitud y temperatura.....	78
Tabla 3.7. Pérdidas de carga en las uniones tipo T.....	82
Tabla 3.8. Dimensiones y separaciones.....	92
Tabla 3.9. Dimensiones circulares.....	93
Tabla 3.10. Cargas por platinas.....	93

CAPÍTULO I

ESTRUCTURA DE LA TESIS

1.1 ANTECEDENTES

Hoy en día para que una empresa sea productiva debe tomar en cuenta no solo la materia prima, la infraestructura, la tecnología, los procesos productivos; sino también debe darle prioridad al recurso humano. Es de suma importancia entender las exigencias básicas del ser humano como la adecuada ventilación, iluminación; la correcta distribución del área de trabajo y la ergonomía de sus estaciones de trabajo para que los trabajadores puedan desempeñar su trabajo de manera óptima.

El Perú es uno de los mayores consumidores de energía en la industria minera, el cual es un alto consumidor de energía eléctrica, para el desarrollo de sus operaciones con la utilización de

equipos y componentes. En la minería a tajo abierto y subterráneo, el requerimiento de energía es alto, por la operación de equipos eléctricos tanto en la planta de procesos así como en las actividades de la mina.

En una mina a tajo abierto donde se tienen túneles con fajas que transportan mineral, una de las actividades de mayor consumo de energía es la ventilación de acuerdo al grado de mecanización, cantidad de equipos y personal a emplear; para ello, requiere de equipos como ventiladores de mayor capacidad en caudal y mayor requerimiento energético.

En el túnel de fajas de transporte de mineral de Planta chancadora en la mina Shougang Hierro Perú, no cuenta con ventiladores estáticos por lo cual se debe de realizar un análisis previo del lugar de trabajo lo cual será básico y esencial para determinar el tipo de ventilación que sea más eficaz para que el trabajador pueda cumplir sus funciones eficientemente y para que el proceso de producción sea el adecuado.

Luego de realizar el análisis se procede a realizar el diseño, en el cual se plasman todos los fundamentos teórico-prácticos necesarios para la realización del proyecto.

1.2 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y FUENTES PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

1.2.1 Técnicas

Se procedió a la recolección de la información mediante técnicas de recolección de datos:

- Documentación
- Observación en campo
- Catálogos de equipos

1.2.2 Instrumentos

- Planos del túnel

1.2.3 Fuentes

La fuente de datos para el trabajo del análisis documental está constituida por los planos del túnel, las fichas y catálogos técnicos que se usan para comprobar los equipos y materiales usados.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Justificación teórica

La propuesta da cumplimiento a la Norma D.S. 024-2016EM, que es el reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería; a su vez, busca, previo estudio, minorizar los costos de operación bajo el menor consumo de energía en las operaciones e incrementar la productividad del trabajador en las actividades diarias.

Artículo 246 El titular de actividad minera velará por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos de acuerdo al ANEXO N° 15 y lo establecido en el Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo, aprobado por Decreto Supremo N° 015-2005-SA o la norma que lo modifique o sustituya.

1.3.2 Justificación ambiental

También la presente propuesta de sistema de ventilación y disminución de mineral tiene como finalidad mejorar la calidad de vida del trabajador ya que, si se mejora la calidad del área de trabajo, el trabajador podrá rendir eficazmente y esto se verá reflejado en la productividad de la empresa

1.3.3 Justificación económica

Ante la creciente alza de producción es importante y necesario también que los empresarios conozcan de la realidad de las áreas de trabajo; así mismo, constatar con veracidad cómo es el lugar de trabajo donde se desenvuelve el personal de la mina propiamente dicho, el no cumplimiento de las normas puede conducir a accidentes de trabajo lo cual implica pérdidas de tipo económico.

1.4 PROBLEMAS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Problema general

- ¿De qué manera se puede disminuir la polución de mineral dentro del túnel de la planta chancadora?

1.4.2 Problemas específicos

- ¿Cómo se llega a proponer un sistema de ventilación?
- ¿Cómo se puede mejorar las condiciones de trabajo?
- ¿De qué manera nos aseguramos que el rendimiento y eficiencia sean los adecuados?
- ¿Cuál sería la propuesta para mantener los estándares de calidad?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivos generales

- Diseñar un sistema de ventilación para disminuir la polución de mineral por debajo de los estándares máximos establecidos por la ley.

1.5.2 Objetivos específicos

- Llevar a cabo el análisis y diseño de un sistema de ventilación adecuado para un túnel donde se transporta mineral a través de fajas en la planta chancadora
- Asegurar la ventilación adecuada en las zonas de trabajo.
- Seleccionar un sistema de ventilación idóneo para ese túnel.
- Cumplir con la normatividad ambiental vigente.

1.6 HIPÓTESIS

1.6.1 Hipótesis general

Propuesta de un sistema de ventilación en un túnel de la planta chancadora para disminuir la polución de mineral en el campamento de San Nicolás en la mina Shougang Hierro Perú, San Juan de Marcona – Ica, 2016.

1.6.2. Hipótesis específicos

- Teoría de los ventiladores.
- Selección de los ventiladores centrífugos para el caso.
- Estudio de impacto ambiental del túnel de la planta chancadora en el campamento de San Nicolás en la mina Shougang Hierro Perú, San Juan de Marcona – Ica, 2016.

- Normas técnicas de impacto ambiental

1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el túnel de transporte de mineral de la planta chancadora no cuenta con un sistema de ventilación y disminución de polución como son ventiladores estáticos con chimeneas verticales; entonces nace esta propuesta, que debe contar con un sistema moderno, pero a su vez sencillo.

1.7.1 Necesidades del ambiente

La polución de mineral trae consigo la presencia de cuerpos altamente tóxicos que son dañinas para la salud del ser humano (del trabajador). La carencia de un sistema de ventilación adecuado que permita la circulación de aire dentro del túnel de la mina menguará notoriamente la salud del trabajador.

1.7.2 Densidad máxima permisible

Las normas internacionales establecen parámetros máximos permisibles de monóxido de carbono admisibles en el aire. En la tabla 1.1, se muestran las concentraciones permisibles a nivel mundial de monóxido de carbono, incluyendo normas como NIOSH Y ASHRAE.

Tabla 1.1 Niveles máximos permisibles de monóxido de carbonos a nivel mundial

Norma	Tiempo (horas)	CO_{máx} (ppm)
ACGIH	8	25
ASHRAE	8	9
	1	35
Canadá	8	11 a 13
	1	25 a 30
España	8	50
	1	125
Finlandia	8	30
	15 min	75
Francia	20 min	100
ICBO	8	50
	1	200
NIOSH / OSHA	8	35
Países Bajos	30 min	200
Reino Unido	8	50
	15 min	300

Fuente: AENOR

- En el Perú, la norma EM.030 describe que la concentración de monóxido de carbono no debe de superar las 50 partes por millón.

1.8 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Ante el inminente alza del crecimiento económico por el mineral promovido por los países de primer orden mundial como son Estados Unidos, China, Japón, etc., hacen que las empresas mineras aumenten sus capacidades de producción, llevando consigo un mayor uso de equipos y componentes en el proceso; por ende, esto lleva a un mayor riesgo de contraer enfermedades ocupacionales por generación de ambientes cargados y contaminados debido a la falta de un sistema de ventilación dentro del túnel de la planta chancadora, lo cual conlleva en el incumplimiento de la normativa vigente D.S. 024 2016 EM que se refiere al reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería. La normativa que tiene como finalidad preservar y cuidar la vida de todos los trabajadores, esta es la problemática del túnel de la planta chancadora, que a su vez se suma el problema de la polución del mineral, alcanzando niveles altísimos de contaminación provocando enfermedades respiratorias en los trabajadores que a su vez se puede ver traducido como pérdida en la empresa

1.9 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se centra en la fase de transporte del mineral en el túnel de la planta chancadora de la minera Shougang Hierro Perú. Toda la investigación se centra en la disminución de la polución cuya propuesta es producto de información real del área de trabajo.

1.10 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo descriptivo ya que se realiza un diseño en el cual se plasman los fundamentos teóricos y prácticos necesarios para la realización de la propuesta del proyecto.

1.11 VARIABLES

1.11.1 Variable independiente

Propuesta de un sistema de ventilación

1.11.2 Indicadores

X1 Ámbito donde se realiza el proyecto

X2 Actualización de datos técnicos relacionados al asunto

X3 Presupuesto

1.12 VARIABLE DEPENDIENTE

Disminución de la polución del mineral en el campamento de San Nicolás en la mina Shougang Hierro Perú, San Juan de Marcona – Ica, 2016

1.12.1 Indicadores

Y1 Eficiencia

Y2 Eficacia

Y3 Productividad

1.13 MOTIVACIÓN

El autor de esta propuesta verifico la falta de condiciones ambientales en el medio de trabajo, y motiva la propuesta de un sistema de ventilación con la finalidad de mejorar la calidad de trabajo dentro del túnel de la planta chancadora; por ende, se mejorará el rendimiento y se logrará una mayor producción.

1.14 LIMITACIONES

- No existe un documento de propuesta previa para realizar este proyecto.
- Dificultad en alguna parte del túnel, ya que en la parte del perímetro, arriba del túnel, se utiliza como cancha de crudos de mineral.
- Falta de visibilidad ya que es un túnel largo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 POLUCIÓN

Se trata de la contaminación ambiental que provocan ciertas sustancias y desechos; la polución, en este sentido, genera múltiples problemas para la naturaleza y todos los seres vivos. El control de la polución debe ser importante en cualquier mina en la cual se genere polvo silíceo puesto que este puede producir silicosis y enfermedades pulmonares asociadas. El polvo debe ser mantenido en un mínimo en las minas y áreas industriales asociadas para proteger a los mineros y habitantes locales; el origen del polvo a su vez puede variar:

- Puede ser producido durante una voladura.
- Puede ser el polvo generado durante el proceso de carga.
- Generado durante el proceso de transporte.
- Generado en procesos de molienda.

2.2 ¿CÓMO AFECTA LA POLUCIÓN AL SER HUMANO?

Las partículas de polvo penetran en los pulmones, los bloquean y evitan el paso del aire, lo cual conlleva:

- Deterioro de los sistemas respiratorio y cardiovascular
- Alteración de los sistemas de defensa del organismo contra materiales extraños
- Daños al tejido pulmonar
- Carcinogénesis
- Mortalidad prematura

Tabla 2.1. Enfermedades producidas por deficiencia o toxicidad de elementos esenciales en minería

ELEMENTO	DEFICIENCIA	TOXICIDAD
Hierro	Anemia	Hemocromatosis
Cobre	Anemia "Tambaleo"	Envenenamiento crónico de Cobre Enfermedad de Wilson-Bedlinton
Zinc	Enanismo Crecimiento retardado de las gónadas Acrodermatitis enteropática	Fiebre Metálica Diarrea
Cobalto	Anemia "Enfermedad del hígado blanco"	Fallos cardíacos Poliotemia
Magnesio	Disfunción de las gónadas Convulsiones Malformaciones del esqueleto "Enfermedad del músculo blanco"	Ataxia
Cromo	Trastornos en el metabolismo de la glucosa	Daños en el riñón (Nefritis)
Selenio	Necrosis del hígado Distrofias musculares ("Enfermedad de los músculos blancos")	"Enfermedad alcalina" "Tambaleo ciego"

Fuente: Minería y Toxicología

2.3 PARÁMETROS PERMISIBLES RESPIRABLES DE POLUCIÓN EN LA MINERÍA

Según el decreto supremo N° 024–2016–EM, que es el reglamento actual y vigente de seguridad y salud ocupacional en minería, especifica que el límite máximo permisible respirable en la minería es de 50 ppm o a su vez 50 μ , mc.

Tabla2.2. Cuadro de máximos niveles permisibles en la minería en ppm

CONCENTRACIÓN (PPM)	EFFECTO FISIOLÓGICO EN EL SER HUMANO DEL H2S
0.025	Olor detectable
0.15	Olor ofensivo
3 – 5	Olor ofensivo moderadamente intenso
10	Olor desagradable con resequedad ocular
20 – 30	Olor fuerte e intenso pero no intolerable
50	Irritación conjuntival y en tracto respiratorio
150	Parálisis del nervio olfatorio
250	Edema pulmonar tras exposición prolongada
300 – 500	Edema pulmonar con inminente riesgo para la vida
700	Inconsciencia, depresión respiratoria, muerte si no se rescata rápidamente
>900	Rápido colapso. Parálisis respiratoria. Exposición puede significar muerte en pocos minutos
5000	Inmediatamente fatal

Fuente: Oscar Reyes Nova. Espacios confinados

2.4 ¿CÓMO SE MIDE EL ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN DENTRO DE UNA MINA?

Para afrontar cualquier problema higiénico, originado por la exposición a contaminantes químicos, de forma racional y eficaz se debe seguir la metodología higiénica que nos lleva a realizar una serie de acciones de modo sistemático con el fin de encontrar las soluciones más adecuadas en cada caso. Dicha metodología consiste:

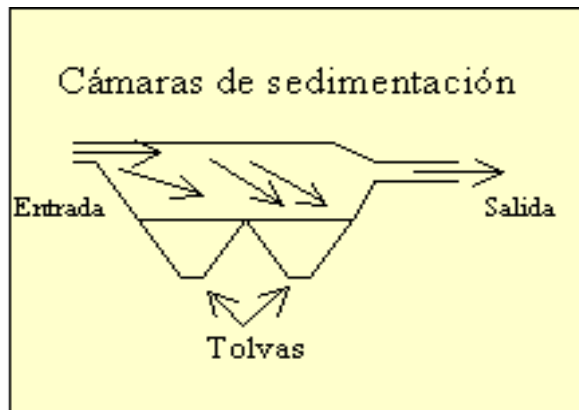
- Identificación de los contaminantes químicos dentro del aire presentes en el puesto de trabajo basándose en la siguiente información: productos utilizados, cantidades, fichas de datos de seguridad, etiquetado, condiciones de transformación del mineral, descripción de los procesos, medidas preventivas existentes, trabajadores expuestos, tiempos de exposición, etc.
- Medición: una vez identificado el contaminante, se procede a su medición o muestreo.
- Valoración de los resultados: una vez analizados los resultados de la medición o del muestreo, se comparan los resultados con los criterios de valoración disponibles para concluir si es probable la aparición de efectos adversos para los trabajadores.
- Control: adopción de medidas preventivas para controlar los contaminantes químicos presentes en el ambiente y prevenir posibles efectos adversos para la salud de los trabajadores.

2.5 EQUIPOS DE MEDICIÓN

La definición del tipo de equipo a utilizar para controlar un contaminante, no sólo depende del tamaño de las partículas a controlar, también son muy importantes sus características físicas y químicas que hay en el área de trabajo.

Cámaras de sedimentación. Son grandes cámaras en las que la velocidad de los contaminantes desciende hasta que por gravedad se deposita en el fondo del equipo. Su máxima eficiencia se logra con partículas no mayores a 1000 micras, siempre y cuando su densidad sea alta.

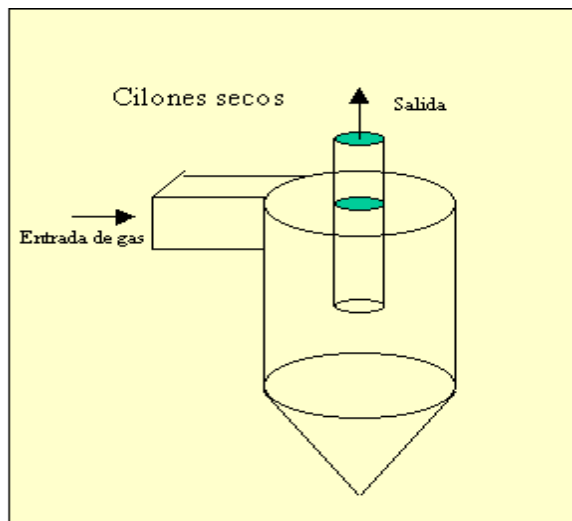
Figura 2.1. Cámara de sedimentación



Fuente: Monografias.com El origen de los polvos

Separadores centrífugos. También se les conoce como ciclones y los hay de baja ó alta energía. Estos equipos utilizan la fuerza centrífuga para hacer que las partículas se adhieran a una de sus paredes, de en donde éstas caen a una tolva receptora. Pueden captar con 95 % de eficiencia partículas de 50 micras, cuando su diámetro es pequeño, porque la fuerza centrífuga es mayor que con diámetros grandes. A estos equipos se les puede inyectar agua y volverlos húmedos con lo que su eficiencia aumenta notablemente, hasta un 95%.

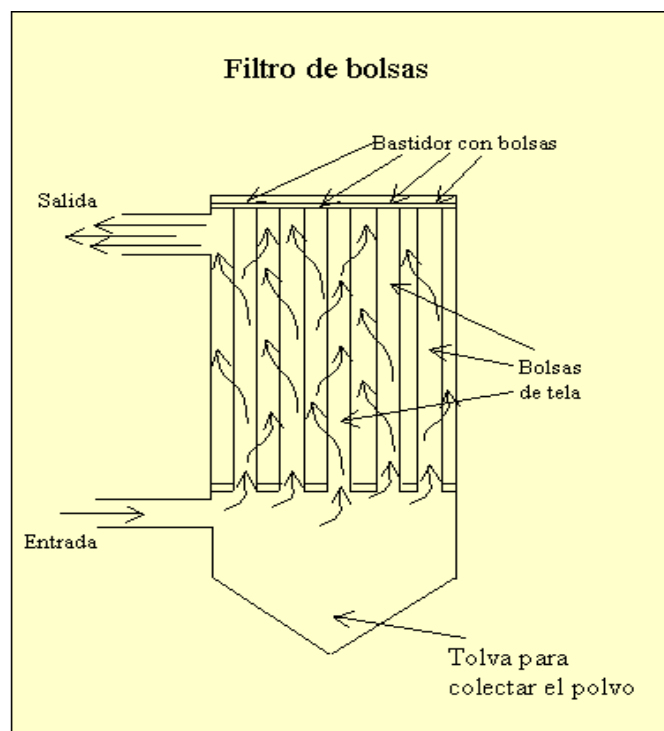
Figura 2.2. Ciclones



Fuente: Monografias.com El origen de los polvos

Filtros de tela o bolsas. En estos equipos el flujo contaminado pasa por un medio filtrante que por lo regular es de tela. Su eficiencia es muy alta y su caída de presión es media, pueden manejar grandes volúmenes y su potencia es media. Son equipos de gran eficiencia ya que llegan a capturar partículas de menos de 0.5 de micra con 99% de eficiencia. Sus limitantes son la temperatura y la humedad; ya que no pueden manejar flujos a más de 200 °C y deben estar totalmente secos, de lo contrario se queman las bolsas o se apelmaza el polvo.

Figura 2.3. Filtro de bolsa



Fuente: Monografias.com El origen de los polvos

Bombas de aspiración y calibrado. Equipo que sirve para medir la polución de mineral, en este caso la bomba de aspiración va conectada al medio de retención de las partículas contaminadas, este componente es utilizado de manera muy sencilla a través de un ciclón separador y a su vez a una manguera y está a su vez a una pantalla de monitoreo, la bomba de aspiración debe ser calibrada por un calibrador electrónico que da las medidas casi exactas del flujo de aire que hay en el lugar donde se va a tomar las pruebas.

Figura 2.4. Bomba de aspiracion de polvo



Fuente: Youtube.com – componentes de medición de polvo

2.6 SALUD OCUPACIONAL

El monóxido de carbono, también denominado óxido de carbono y anhídrido carbonoso (los dos últimos cada vez más en desuso), cuya fórmula química es CO , es un gas incoloro y altamente tóxico. Puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados.

La peligrosidad de los polvos fibrinógenos depende de tres factores fundamentales: Concentración, que se puede expresar por peso en unidad de volumen, o por número de partículas por unidad de volumen; constitución química y mineralógica y finalmente tamaño de las partículas. En cuanto a la concentración que pudiéramos considerar peligrosa para un puesto de trabajo, varía muchísimo según la constitución química y el tamaño (así, por ejemplo, para tamaños inferiores a cinco micras la concentración máxima tolerada para polvo con un alto contenido en sílice libre es de 175 partículas por centímetro cúbico, mientras que para polvos que no contengan sílice se admiten hasta 1.750 partículas). En cuanto a la constitución

química podemos decir que el factor que determina la peligrosidad es el contenido en sílice libre en sus diversas formas mineralógicas, hasta tal punto que no sólo influye por su contenido, sino que la peligrosidad de otros componentes depende en parte del contenido en sílice libre que le acompañe. Como ejemplo daremos una fórmula de peligrosidad en cuanto a la producción de silicosis dada por el Silikose-Forschungs Institut, de Alemania.

2.7 MÁXIMA CONCENTRACIÓN PERMISIBLE PARA EL SER HUMANO

En el Perú, la norma EM.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones y la norma 024 - 2016 establece que la concentración de monóxido de carbono no debe superar las 50 partes por millón o a su vez 50 micras, según (Ministerio de Vivienda 2006:321177).

2.8 VENTILACIÓN MINERA (RECOMENDACIONES)

Se precisa que al inicio de cada jornada o antes de ingresar a cualquier labor se deberá realizar mediciones de gases tóxicos, las que deberán ser registradas y comunicadas a los trabajadores que tienen que ingresar a dicha labor. De acuerdo al artículo 236 del reglamento, en todas las labores subterráneas se mantendrá una circulación de aire limpio y fresco en cantidad y calidad suficientes de acuerdo con el número de trabajadores, con el total de HP (caballos de fuerza) de los equipos con motores de combustión interna, así como para la dilución de los gases que permitan contar en el ambiente de trabajo con un mínimo de 19,5% de oxígeno.

Con relación a la ubicación de las operaciones minera, el reglamento precisa que cuando las minas se encuentren hasta 1500 metros sobre el nivel del mar, en los lugares de trabajo la cantidad mínima de aire necesaria por hombre será de seis metros cúbicos por minuto.

Teniendo en cuenta que la mina Shougang Hierro Perú se encuentra a 27 msnm, los estándares de ventilación adecuados dentro del túnel de planta chancadora serán de seis metros cúbicos por persona en el área de trabajo, con esto se cumplirá la normativa de ventilación en minería, según decreto supremo 024-2016.

2.9 LA HIGIENE DEL AIRE EN FÁBRICAS Y MINAS

Los procesos de producción pueden ir acompañados de la emisión de gases, vapores, polvo o calor que modifican el estado y composición del aire, lo cual puede ser nocivo para la salud y bienestar de los trabajadores y así mismo, provocar unas condiciones penosas de trabajo que repercutan en el rendimiento personal. Uno de los propósitos de la ventilación es el mantenimiento de un estado y composición del aire que resulten apropiados a las necesidades de la higiene. Sin embargo, la ventilación tiene también otras finalidades, como son las debidas a necesidades técnicas de los procedimientos de fabricación, almacenamiento y acondicionamiento de los productos, así como la conservación de los equipos y la construcción de edificios.

En general, se llama impureza a toda materia extraña que hace que el aire resulte insatisfactorio desde el punto de vista de la higiene. Las impurezas se pueden clasificar en:

- 1) exceso de vapor de agua,
- 2) gases y vapores nocivos
- 3) polvo. El calor excesivo, también resulta pernicioso.

La pérdida de calor típica que experimenta un hombre vestido en una habitación cuya temperatura es de 18 °C es la siguiente:

Radiación	44 %
Convección.....	31 %
Evaporación (en la piel y los pulmones)	21 %
Calentamiento del aire inhalado y la comida ingerida	4 %
	<hr/>
	100%

En la tabla 2.3, se muestran las condiciones ambientales adecuadas a trabajos ligeros y pesados, las cuales se han tomado de los datos proporcionados por el Instituto para la Protección en el Trabajo

Tabla 2.3. Condiciones ambientales propuestas para trabajadores de la industria y minería.

Trabajo ligero			Trabajo pesado		
Temperatura del aire, °C	Humedad relativa, %	Velocidad del aire, m/s	Temperatura del aire, °C	Humedad relativa, %	Velocidad del aire, m/s
18	40-50	≈ 0	13-14	40-50	≈ 0
20	40-50	0,17-0,25	18-19	40-50	0,58-0,67
22	40-50	0,33-0,50	20	40-50	1,0 -1,17
24	40-50	0,84-1,0	22	40-50	1,17-1,33
26	80	1,33-1,5	24	40-50	1,33-1,50
28	40-50	1,67	24-25	80-85	> 1,5 -1,92
28	70	1,75	26	40-50	2,0 -2,16
30-32	40-50	> 2,0	26	80	2,0 -2,50
			28	40-50	1,17-2,34

Fuente: V.V. Baturin

2.10 PROPAGACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

En las fábricas y minas las impurezas se propagan por movimientos y corrientes de aire que son del todo inevitables. Se puede demostrar fácilmente que el aire no se encuentra en estado de reposo mediante la producción de humo, que hace visible el movimiento del mismo.

Estos movimientos se deben a la presencia de superficies cuyas temperaturas son distintas a la del aire. Los cuerpos con temperaturas mayores que la del aire lo calientan originando corrientes ascendentes, mientras que los cuerpos que lo enfrían originan corrientes

descendentes. Los vacíos que estas corrientes producen, se llenan inmediatamente con aire nuevo, el cual vuelve a calentarse o enfriarse y así sucesivamente. Este proceso continúa indefinidamente originando las corrientes térmicas. El vapor de agua que se produce por ebullición o evaporación de baños industriales, así como los gases y vapores nocivos que escapan de las tuberías y aparatos a presión, son propagados por las corrientes de aire. Cuando se trabaja con muelas abrasivas, debido a las diferencias de presión que por una u otra razón se producen en el equipo, se originan chorros de aire cargados de polvo que escapan por las aberturas del equipo.

Las piezas móviles de la maquinaria, el ir y venir de cargas y sobre todo el aire que penetra por las rendijas de las paredes y techos o cuando se abren las puertas, son otras causas que provocan movimientos en el aire.

2.11 CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE VENTILACIÓN

La ventilación tiene por objeto el mantenimiento de la pureza y de unas condiciones prescritas en el aire de un local, mina o industria, en otras palabras es mantener la temperatura, velocidad y nivel de impurezas entre ciertos límites.

Esta tarea se lleva a cabo en la forma siguiente: el aire viciado se extrae del local (ventilación por aspiración) mientras que se introduce aire puro para reemplazarlo (ventilación por impulsión). Esencialmente el proceso descrito consiste en un intercambio de calor y masa entre el aire entrante y el del interior del local. Si la temperatura del aire interior tiende a rebasar las normas establecidas debido a un exceso de producción interno de calor, se introduce aire frío que al mezclarse con el aire más caliente del local mantiene la temperatura dentro de las normas gracias a la transmisión de calor.

La renovación del aire puede llevarse a cabo mediante ventiladores (ventilación mecánica) o gracias a la diferencia de densidades entre el aire interior y el exterior y también por la acción

del viento (ventilación natural). La ventilación puede ser general o localizada. La ventilación localizada por aspiración tiene por objeto la extracción del aire polucionado en el mismo sitio en que se produce la contaminación impidiéndose así la propagación de las impurezas por todo el edificio. El empleo de este método hace mínima la cantidad de aire que se debe renovar para mantener un grado de dilución conveniente.

Los aspiradores localizados pueden clasificarse en la forma siguiente:

- Aspiradores cerrados en los que el foco de polución está situado en el interior del colector de aspiración; por ejemplo, una campana de humos;
- Aspiradores semi cerrados
- Aspiradores abiertos en los que la boca de aspiración está situada a cierta distancia del foco de polución

2.12 EL AIRE EN LAS MINAS

Siendo el aire un fluido básico de la vida, el cual al pasar por una mina se altera su composición, cambia se define como una mezcla mecánica de gases que, en su estado puro y seco tiene la siguiente composición:

Tabla 2.4. Composición del aire dentro de una mina

GAS	% en volumen	% en peso
Nitrógeno - N ₂	78,09	75,53
Oxígeno - O ₂	20,95	23,14
Anh. Carbónico - CO ₂	0,03	0,046
Argón y otros	0,93	1,284

Fuente: Aenor

2.13 DENSIDAD DEL AIRE EN UNA MINA

Es la relación de la densidad del lugar comparada con la densidad a 0 °C, teniendo en cuenta que la densidad a nivel del mar es de 0.075 lb/pie³ a una presión barométrica de 29,92'' Hg, la densidad del aire se halla utilizando la siguiente formula de Raja N. Ramani, la cual indica.

$$W = \frac{1.327}{(460 + Td)} (B - 0.378f)$$

Dónde:

w= densidad

B= presión barométrica

f = presión de vapor de aire

2.14 DIFERENCIA DEL PRESIÓN DEL AIRE

A mayor altura existe menor presión ya que encima hay menos cantidad de aire y está menos comprimido (menos denso). Es decir, en un mismo volumen hay menos moléculas porque están menos comprimidas por el peso de las de arriba. La diferencia de presión de aire genera el movimiento de volumen de aire en un circuito. Se puede determinar de la siguiente manera:

$$H_{T1} = H_{T2} + H_{l1-2}$$

HT1 y HT2 es la presión total en el punto 1 y 2.

HT1-2 es la perdida de presión entre el punto 1 y 2.

2.15 RESISTENCIA AL MOVIMIENTO DEL AIRE

Raja V, Romaní, interpreta la perdida por fuerzas opuestas a la dirección de los fluidos, como rugosidades, por viscosidad y fricción en superficie.

2.16 PRESIÓN DINÁMICA EN EL TÚNEL

Según Atkinson, este parámetro se calcula por la siguiente ecuación:

$$P_D = \frac{K * C * L * Q^2}{A^3}$$

P D: Caída de presión (Pa)

K: Factor de fricción (N *s²/ m⁴)

C: Perímetro SNV (m)

L: Longitud SNV (m)

V: Velocidad (s/m)

A: Área

2.17 POTENCIA DE LA ENERGÍA

Es la suma de las pérdidas totales, perdidas por choque y fricción en el flujo de aire entre dos puntos, para su estimación podemos aplicar la siguiente formula:

$$H_L = H_f + H_x = \frac{K(L + L_e)OV^2}{A}$$

Donde:

H_L=perdida de presión total

H_f= perdida de presión por fricción

H_x= perdida de presión por choque

K= Factor de fricción)

L= longitud

L_e= longitud equivalente

O= perímetro

V²= velocidad

A= sección

Ambas pérdidas por fricción y choque incrementan la resistencia del sistema de aire por tal razón incrementa el consumo de energía.

Esta expresión también puede ser resuelta a través de la siguiente forma.

$$H_{\text{total}} = H_{\text{Estático}} + H$$

2.18 REGULADORES DE VENTILACIÓN

Llamados reguladores en sistemas de ventilación, son aquellos componentes que permiten controlar el desplazamiento de masa de aire a través de las diferentes labores mineras. Estos reguladores de ventilación pueden estar compuestos por componentes sólidos y maleables accionados en forma manual y electromecánica.

Figura 2.5. Dámper de accionamiento manual



Fuente: Ecotecnica, Ingenieros asociados

Entre Reguladores comunes tenemos:

- Ventanas de ventilación
- Cortinas
- Puertas

2.19 FLUJO DEL AIRE

La corriente de aire que se desplaza por un conducto con entrada y salida de aire. La diferencia de presión deseada tiene su fuente por la presencia de gradiente térmica o sea agentes mecánicos, la corriente de aire puede ser forzada con un motor ventilador o corriente de aire libre.

2.20 FLUJO DE AIRE EN PARALELO

Tomando en cuenta la teórica de circuitos en paralelo, el flujo en paralelo cumple con el mismo propósito, es la suma de los caudales individuales de cada ventilador en puntos de igual presión cuyo caudal total es la suma de todos los caudales que hay en el mismo punto, con una diferencia de presión es igual. Para su cálculo estimado se aplica las siguientes ecuaciones:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots Q_i$$

Dónde:

Q= caudal

2.21 FLUJO DE AIRE EN SERIE

Se caracteriza porque la corriente de aire se mueve sin ramificación, por lo que el caudal permanece constante, entre sus propiedades tenemos

- el caudal que pasa por cada labor es el mismo
- la caída de presión total es igual a la suma de caídas de presiones parciales

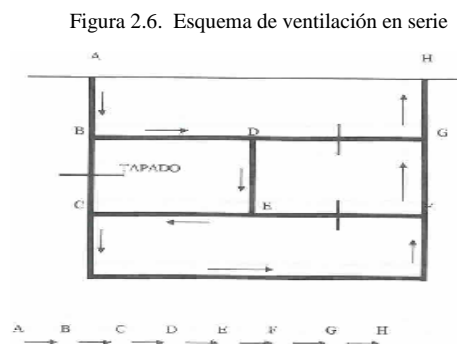
$$Q = V \cdot A = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 = \dots = V_s \cdot A_s$$

Dónde:

Q = Caudal en ft^3/m

V = Velocidad

A = Área



Fuente: Howard L. Hartman 1992

2.22 VENTILACIÓN NATURAL

Es el flujo natural de aire fresco al interior de una zona de labor sin necesidad de equipos de ventilación. En una galería horizontal o en labores de desarrollo en un plano horizontal no se produce movimiento de aire. En minas profundas, la dirección y el movimiento del flujo de aire, se produce debido a las siguientes causas: diferencias de presiones, entre la entrada y salida. Diferencia de temperaturas durante las estaciones.

2.23 VENTILACIÓN MECÁNICA

Es la ventilación auxiliar o secundaria y son aquellos sistemas que, haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello los circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que le proporcione el sistema de ventilación general.

2.24 CAUDAL TOTAL EN EL DUCTO DE LA MINA

Para el cálculo de la demanda de aire producto de las operaciones mineras, se utilizó como parámetros la normativa actual vigente DS 024- 2016 con el fin de estimar las cantidades de aire requeridas dentro del área de trabajo. Este requerimiento de aire está dado por la siguiente expresión.

$$\text{N}^\circ \text{ Personas} \times 6 \text{ m}^3/\text{min} \times 35.3 \text{ ft}^3/\text{m}^3 = Q_1 \text{ (cfm)}$$

$$\text{N}^\circ \text{ HP de total de equipos} \times 3 \text{ m}^3/\text{min} \times 35.3 \text{ ft}^3/\text{m}^3 = Q_2 \text{ (cfm)}$$

$$\text{Total Requerimiento de ventilación} = Q_1 + Q_2$$

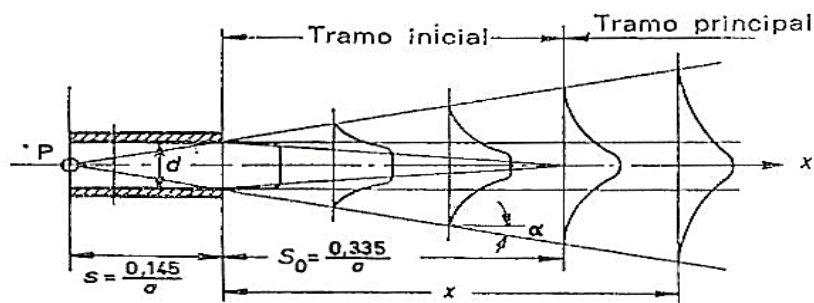
2.25 CHORROS CIRCULARES LIBRES DE AIRE

Cuando un fluido penetra en un espacio infinito o en la práctica, cuando penetra en un espacio grande ocupado por el mismo fluido en estado de reposo relativo, se produce un chorro circular libre. Se pide que el espacio sea suficientemente grande porque la proximidad de superficies limitadoras puede afectar a la formación y la trayectoria del chorro. Si un chorro de aire que proviene, por ejemplo, de la abertura circular de un tubo cilíndrico se hace visible por medio de humo, es posible observar cómo se desarrolla en forma de cono. Si la densidad del chorro es la misma que la del medio por el que circula el eje del chorro es rectilíneo, mientras que si las densidades son distintas el chorro presenta un eje curvado. Si el chorro tiene una densidad mayor que la del aire que lo envuelve, su eje se dobla hacia abajo (el chorro cae), en el caso contrario el chorro se levanta.

Observando un chorro cargado de humo se verá que:

1. El chorro se ensancha al salir del orificio. Su anchura aumenta proporcionalmente a la distancia de la abertura excepto en las cercanías de su origen.
2. La velocidad del chorro decrece gradualmente a medida que avanza.

Figura 2.7. Chorro axisimétrico



Fuente: V.V. Baturin

Tabla: 2.5. Leyes de chorro circular

Nomenclatura de las variables relativas	Notación	Tramo inicial	Tramo principal
Velocidad axial	$\frac{v_x}{v_0}$	1	$\frac{0,48}{\frac{ax}{d} + 0,145}$
Caudal volumétrico	$\frac{\dot{V}_x}{\dot{V}_0}$	$1 + 1,52 \frac{ax}{d} + 5,28 \left(\frac{ax}{d}\right)^2$	$4,36 \left(\frac{ax}{d} + 0,145\right)$
Diámetro	$\frac{d_x}{d}$	$6,8 \left(\frac{ax}{d} + 0,145\right)$	$6,8 \left(\frac{ax}{d} + 0,145\right)$
Velocidad media en una sección	$\left(\frac{v_x}{v_0}\right)_1$	$\frac{1 + 1,52 \frac{ax}{d} + 5,28 \left(\frac{ax}{d}\right)^2}{1 + 13,6 \frac{ax}{d} + 46,24 \left(\frac{ax}{d}\right)^2}$	$\frac{0,095}{\frac{ax}{d} + 0,145}$
Velocidad media del chorro	$\left(\frac{v_x}{v_0}\right)_a$	1	$\frac{0,226}{\frac{ax}{d} + 0,145}$
Temperatura media (o concentración media)	$\frac{t_x - t_i}{t_0 - t_i}$	$1 + 1,52 \frac{ax}{d} + 5,28 \left(\frac{ax}{d}\right)^2$	$\frac{ax}{d} + 0,145$

$t_i =$ temperatura del medio circundante

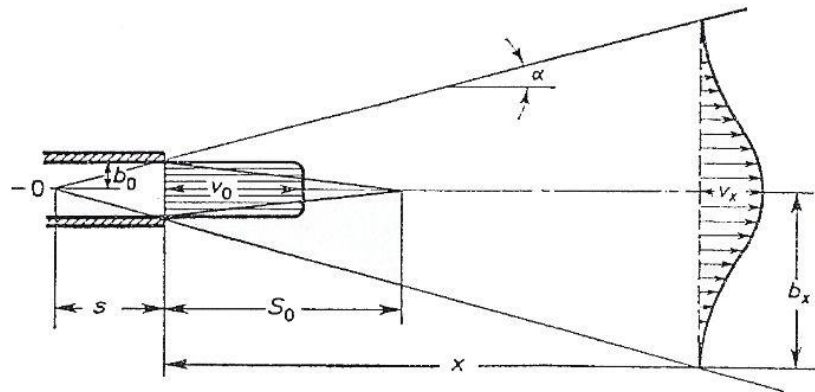
Fuente: V.V. Baturin

2.26 CHORROS LIBRES PLANOS

El chorro se origina en una rendija (con una relación de dimensiones 1/20) situada al final de un conducto convergente. Los perfiles están tomados en el plano paralelo a los lados cortos de la rendija que pasa por el centro de la misma. Los parámetros geométricos de un chorro plano de envergadura y longitud infinita en un plano normal.

A la posición aparente del manantial lineal de un chorro plano se le llama polo del chorro (0) y se encuentra a una distancia relativa $S/b_0=0,41/a$ detrás del plano de la rendija. La distancia recorrida por el núcleo original es $S_0/b_0 = 1,03/a$ y la tangente trigonométrica del ángulo de propagación es $\text{tg } \alpha = 2,4a$. Las demás características se dan en la tabla 2.4

Figura 2.8. Representación de un chorro plano.



Fuente: V.V. Baturin

Tabla 2.6. Leyes de chorro plano

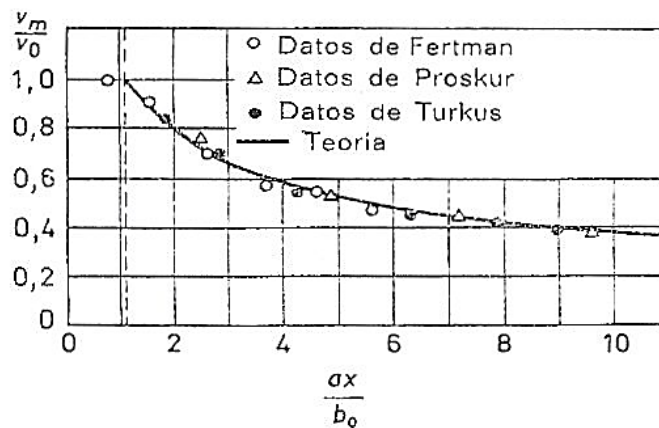
Nomenclatura	Notación	Tramo inicial	Tramo principal
Velocidad axial	$\frac{v_x}{v_0}$	1	$\frac{1,2}{\sqrt{\frac{ax}{b_0} + 0,41}}$
Caudal con respecto a la anchura inicial del chorro	$\frac{\dot{V}_x}{\dot{V}_0}$	$1 + 0,43 \frac{ax}{b_0}$	$1,2 \sqrt{\frac{ax}{b_0} + 0,41}$
Velocidad media en una sección	$\left(\frac{v_x}{v_0}\right)_1$	$\frac{1 + 0,43 \frac{ax}{b_0}}{1 + 2,4 \frac{ax}{b_0}}$	$\frac{0,492}{\sqrt{\frac{ax}{b_0} + 0,41}}$
Velocidad media del chorro	$\left(\frac{v_x}{v_0}\right)_2$	$\frac{1}{1 + 0,43 \frac{ax}{b_0}}$	$\frac{0,82}{\sqrt{\frac{ax}{b_0} + 0,41}}$
Mitad de la anchura del chorro	$\frac{b_x}{b_0}$	$2,4 \left(\frac{ax}{b_0} + 0,41\right)$	$2,4 \left(\frac{ax}{b_0} + 0,41\right)$

Fuente: V.V. Baturin

A continuación se mencionara algunos valores del coeficiente a para distintas formas del conducto y la abertura. Según los ensayos de Fertman una abertura convergente de 3,25 X 65 cm tiene un coeficiente a = 0,11. Según los ensayos de G. F. Proskur una rendija de bordes afilados de 5 x 60 cm situada en una pared plana tiene un coeficiente a = 0,12. Los ensayos de Turkus (1) para salidas de conductos rectangulares con relación de dimensiones 1/20, a = de 0,10 a 0,15; para razón de dimensiones 1/10, a = de 0,09 a 0,14 y para una rendija practicada en una pantalla plana, el valor promedio de a oscilaba entre 0,15 y 0,18. Cuando a está

comprendido entre 0,09 y 0,12 la distancia relativa del polo del chorro s/b_0 varía de 4,5 a 3,5. La longitud del tramo inicial s_0/b_0 varía de 11,5 a 8,5 para un ángulo de propagación $\alpha = 12^\circ - 16^\circ$. Los chorros que emergen de aberturas rectangulares se convierten en chorros casi circulares una vez han recorrido una distancia de diez diámetros, llamando diámetro a la raíz cuadrada del área de la abertura. Cuando el chorro se ha convertido en casi circular se comporta aproximadamente igual que los que se originan en aberturas circulares o cuadradas de la misma área transversal. En el informe de Turkus(1) se recogen datos experimentales para aberturas rectangulares con relación de dimensiones 1/1, 1/2, 1/3, 1/5, 1/10, 1/20 y 1/80. La figura 3.3 permite juzgar el grado de coincidencia entre la teoría y la experimentación.

Figura 2.9. Generalización de la distribución de velocidades en un chorro plano



Fuente: V.V. Baturin

2.27 CHORROS QUE SE PROPAGAN SOBRE UNA PARED PLANA

$$\frac{V_x}{V_0} = \frac{0.48}{(ax/d\sqrt{2}) + 0.145} = \frac{0.68}{(ax/d) + 0.205}; \frac{V_2}{V_0} = \frac{0.32}{(ax/d) + 0.205}$$

Los chorros que se dirigen hacia una pared plana se pegan a ella y se extienden por su superficie cualquiera que sea su ángulo de incidencia. Los chorros circulares dirigidos hacia un plano tangente (es decir, sin solución de continuidad entre la boquilla y el plano) se pueden calcular,

en la práctica, mediante las fórmulas del chorro circular libre, pero sustituyendo el diámetro de la boquilla

En estas fórmulas se puede considerar que $a = 0,06$ cuando el perfil de velocidades en el origen del chorro es uniforme. Para un chorro originado en una abertura rectangular cuya dirección sea paralela a una pared plana, se pueden usar las fórmulas del chorro plano sustituyendo b_0 (la mitad del ancho de la abertura) por la anchura total, $2b_0 = b$. Este chorro se puede considerar como la mitad de un chorro de anchura doble cuyo eje o línea central pasara por el plano de la pared. La zona de mezcla en el lado del chorro que toca la pared es despreciable, pero en el lado opuesto crece rápidamente siguiendo un proceso muy parecido al del chorro plano. De acuerdo con esto, la fórmula para la velocidad relativa es:

$$\frac{V_x}{V_0} = \frac{1.2}{\sqrt{(ax/b) + 0.41}}$$

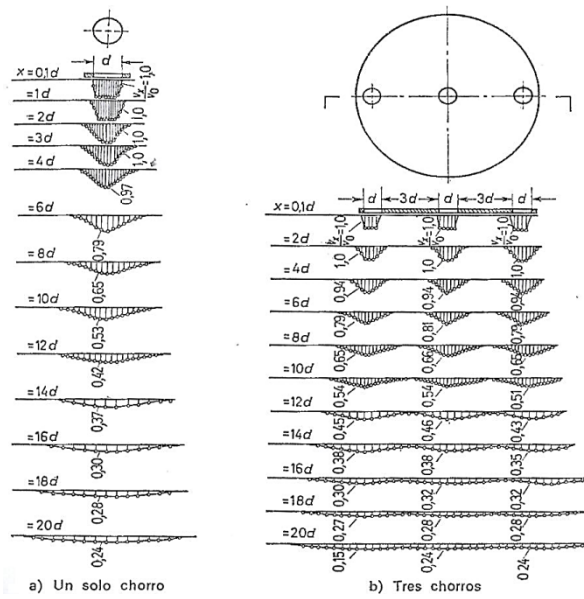
Para los caudales:
$$\frac{V_x}{V_0} = 1.2\sqrt{(ax/b) + 0.41}$$

Hay que tener en cuenta que si la orilla de la boquilla está en contacto con la pared, siempre que el eje de la boquilla forme un ángulo θ con la pared menor de 40-45°, el chorro se pegará a la pared y se extenderá sobre ella. Las velocidades máximas para las mismas distancias relativas son prácticamente iguales en ambos casos.

2.28 ACCIÓN RECÍPROCA ENTRE CHORROS

Si un chorro de aire se encuentra con otro en el seno de un medio en reposo se influyen mutuamente modificando la distribución de velocidades.

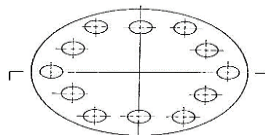
Figura 2.10. Acción mutua entre chorros



Fuente: V.V. Baturin

Cuando varios chorros avanzan paralelamente en el mismo sentido (por ejemplo, salen de una serie de tubos paralelos o de una serie de orificios practicados en la misma pared) a partir de una distancia determinada se empiezan a superponer. Los ensayos llevados a cabo por el autor, demuestran que en la práctica, para obtener la distribución de velocidades de chorro total, se pueden superponer los diagramas de los chorros elementales (fig. 2.9). Esta superposición consiste en sumar los vectores velocidad de los chorros elementales. Después de la fusión de todos los chorros en uno, la dirección del flujo permanece paralela a la dirección inicial de los chorros elementales.

Figura 2.11. Chorros procedentes de orificios situados en un círculo



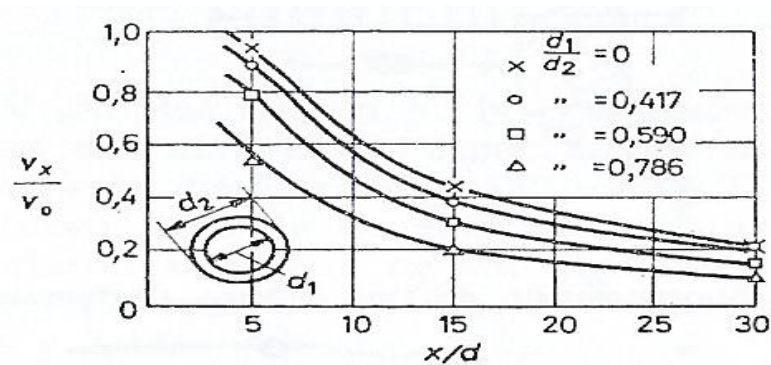
Fuente: V.V. Baturin

Si los chorros crean una región periférica que se cierra en la intersección de los mismos, limitando así el flujo del aire procedente de los alrededores, resulta lógico suponer que la depresión así creada, acerca los chorros los cuales se fusionan más pronto. Esta hipótesis se ve

confirmada, por ejemplo, en el caso de chorros procedentes de orificios situados en un círculo o en cualquier otro contorno cerrado sobre un plano.

En el caso de un chorro procedente de un orificio anular de espesor d_2-d_1 formado por dos tubos concéntricos, ocurre un fenómeno similar. Los experimentos llevados a cabo en el Instituto Central de Turbinas de Vapor,⁽⁵⁾ demuestran que a partir de $x/d = 5$ las distribuciones de velocidad se han fusionado totalmente y que a distancias mayores reproducen cualitativamente las características de un chorro circular para el cual $d_1/d_2 = 0$. En la figura 4.30 se indican las velocidades axiales relativas de un chorro hueco para distintas razones d_1/d_2 .

Figura 2.12. Velocidad axial relativa en chorros anulares a distintas distancias del orificio.



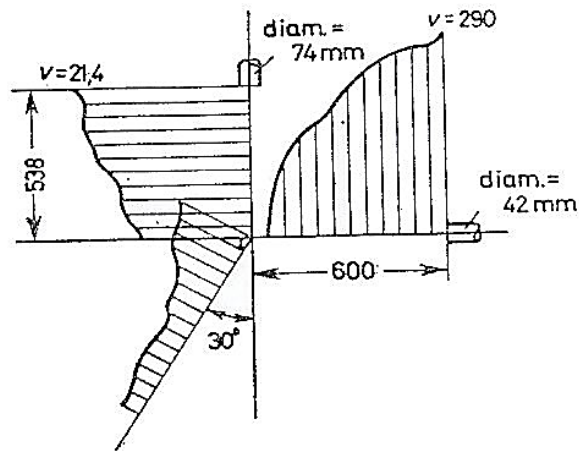
Fuente: V.V. Baturin

La generalización de estas curvas es posible siempre que las velocidades, en vez de estar dadas con respecto a la velocidad inicial, se den con respecto a la velocidad equivalente v_{es} , definida como la velocidad inicial de un chorro que emerge de un orificio circular de diámetro $d_{%}$, cuya cantidad de movimiento sea la misma que la del chorro real que emerge del orificio anular con una velocidad v_0 :

$$V_{eq} = V_0 \sqrt{1 - (d_1/d_2)^2}$$

Si los ejes de los chorros elementales se intersecan, la dirección del chorro resultante se puede determinar sumando vectorialmente las cantidades de movimiento en la intersección de los ejes. El vector resultante indica la dirección del chorro combinado.

Figura 2.13. Suspensión de chorros confluentes



Fuente: V.V. Baturin

2.29 CHORROS CONFINADOS EN UN RECINTO ISOTÉRMICO

La propagación de chorros por un espacio restringido ha sido estudiada por N. N. Sadovskaya. Se trazaron los gráficos de distribución de velocidades y de líneas de igual velocidad para distintos cortes transversales y longitudinales del modelo y a continuación se calcularon las principales variables que caracterizan al chorro y al aire atrapado por el mismo.

Cuando se introduce un chorro de aire a través de un orificio cercano al techo y situado en una pared final se forman dos corrientes que siguen sentidos opuestos: *a*) una corriente se extiende por el techo del modelo y *b*) otra se dirige hacia el suelo y los lados. Aunque se disminuya la altura a que se introduce el chorro, éste sigue mostrando la misma tendencia y no se separa del techo hasta que entra a menos de $0,65 h_0$ sobre el nivel del suelo.

2.30 SALIDA DEL AIRE

Cuando se emplea ventilación mecánica, el aire se puede introducir distribuyéndolo uniformemente por la habitación o bien suministrando todo el volumen calculado por uno o dos conductos. Si se emplea el suministro distribuido, generalmente se introduce mediante

boquillas de formas diversas instaladas al final de los conductos de ventilación. A veces, sin embargo, el aire entra a través de rendijas y perforaciones practicadas en las paredes de los conductos. En este caso es necesario tomar precauciones para asegurar que el aire descargue formando un ángulo recto con el eje del conducto, para lo cual las aberturas deben estar provistas de rejillas o placas. Además, para que todos los orificios descarguen el mismo volumen de aire el conducto debe tener una sección transversal variable.

Las salidas de aire deben tener las siguientes propiedades:

1. Producir en el edificio ventilado una distribución apropiada de velocidades, temperaturas y otros variables asociadas.
2. Evitar resistencias aerodinámicas innecesarias,
3. Tener tamaño y forma convenientes y ser fáciles de fabricar.

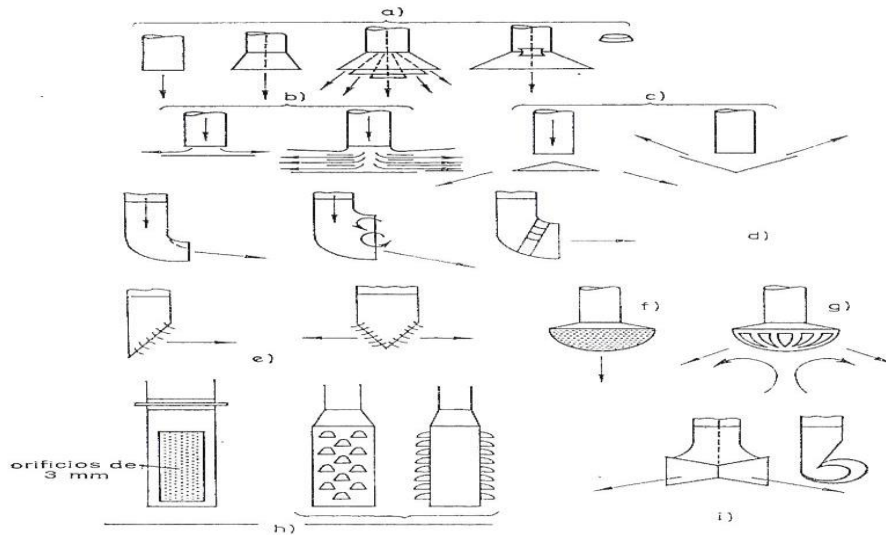
Las salidas de aire se pueden clasificar según criterios diversos, por ejemplo:

1. Según la dirección en que se propague el chorro en la habitación, que puede ser horizontal, vertical o inclinada.
2. Según la dirección en que se distribuya el aire que puede ser unilateral, multilateral o en todos sentidos.
3. Según la envergadura del chorro o chorros, etcétera.

Se muestran varias salidas de aire para suministro vertical. Como se ve, la más sencilla consiste en un simple tubo de sección circular o rectangular, para el cual ya hemos estudiado los chorros que origina. Para dispersar el chorro vertical se puede proveer el tubo de varios difusores. Si el ángulo de inclinación de los difusores de forma abocinada excede de $8-10^\circ$ el flujo es inestable saliendo a veces por un lado y a veces por el otro. Si se emplean ángulos de inclinación mayores para que la corriente llene lo más posible la sección del difusor, es necesaria la instalación de un deflector en la descarga del tubo que dirija el flujo contra las paredes del difusor, evitando así que éste se separe de las mismas. Otra solución consiste en instalar unos alabes guía en la

parte cilíndrica del tubo que impriman a la corriente un movimiento giratorio alrededor de su eje antes de salir.

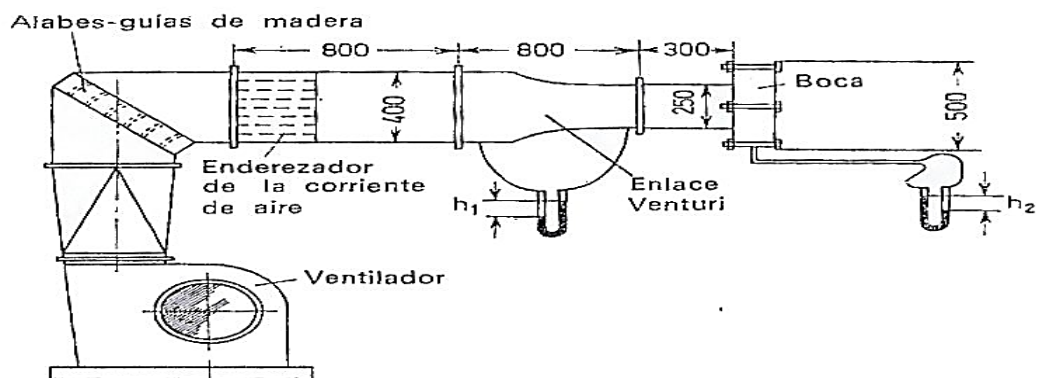
Figura 2.14. Diversos tipos de bocas para descarga de aire.



Fuente: V.V. Baturin

Para emplear correctamente las bocas de salida es necesario conocer sus características termodinámicas, al menos para los diseños más comunes. Este conocimiento se adquiere con ensayos de laboratorio. El equipo de ensayo se muestra en la figura 2.13 Para obtener un perfil de velocidades plano antes de la boquilla y también para medir el caudal, por diferencia de presión estática, se instala un tubo de Venturi.

Figura 2.15. Instalaciones para ensayar bocas de salida



Fuente: V.V. Baturin

2.31 DISTANCIA MÁXIMA ENTRE SALIDAS DE AIRE

Según ley, Número 29, p. 73-86, 2011. ISSN electrónico 2357-3740. ISSN impreso 0120-3630. En toda mina subterránea, las instalaciones para entrada y salida de aire deben ser independientes, distantes no menos de 50 metros una de otra. Los sistemas de ventilación no podrán formar circuitos cerrados.

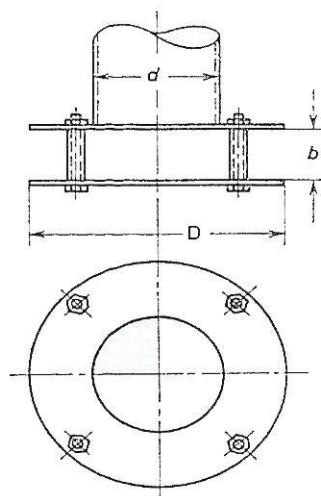
2.32 BOCAS DE SALIDA CON DEFLECTORES TRANSVERSALES A LA CORRIENTE

Boquilla con deflector (fig. 2.14)

Sea $D = 2d$ el diámetro del deflector. Las consecuencia de la variación de este diámetro no se han investigado, pero a juzgar por la configuración de la corriente en una mesa hidráulica el chorro se desvía totalmente a una distancia $D/2$. Por tanto, D puede disminuirse hasta $1,5d$ sin que cambie sensiblemente la trayectoria del chorro. La relación entre el coeficiente global de resistencia por fricción.

En el conducto de entrada y la distancia relativa b/d de la placa a la boca de salida, se muestra en la figura

Figura 2.16. Salida con una sola placa deflectora.



Fuente: V.V. Baturin

2.33 VENTILADORES

Un ventilador es una máquina de fluido, más exactamente una turbomáquina que transmite energía para generar la presión necesaria con la que se mantiene un flujo continuo de aire. Se utiliza para usos muy diversos como: ventilación de ambientes, refrescamiento de máquinas u objetos o para mover gases, principalmente el aire, por una red de conductos.

2.34 TIPOS DE VENTILADORES

- De mesa: se caracteriza por no ser poseedor de una alta potencia. Es por ello que se utilizan en espacios donde la ventilación no representa un gran problema.

- De pared: este tipo de ventiladores es utilizado para que el aire circule, sobre todo en aquellos ambientes que tienden a ser pequeños. Estos son colocados sobre la pared, sobre todo en aquellos ambientes que tienden a ser muy alargados.

- De techo: la disposición de estos ventiladores es horizontal, movilizándolo el aire de arriba hacia abajo. Estos ventiladores suelen ser muy utilizados, sobre todo en aquellos espacios donde no hay suficiente espacio para colocarlos en el suelo o en las paredes. Sin embargo hay que ser muy cuidadoso con ellos ya que si no están bien colocados pueden generar accidentes graves por caídas.

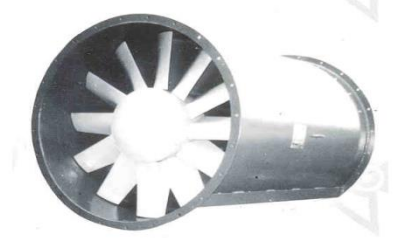
Ventiladores Industriales:

Ventiladores axiales:

En este tipo de ventiladores, el aire ingresa a lo largo del eje del rotor y luego de pasar a través de las aletas del impulsor o hélice es descargado en dirección axial. También se les llama ventiladores de hélice. Ofrece el más alto flujo de aire, su eficiencia está entre 70 y 80% y son

capaces de trabajar a las velocidades más altas, presentan una gama fuerte de inflexión e inestabilidad, producen los niveles más altos de ruidos, son más versátiles y son más baratos.

Figura 2.17. Ventilado industrial



Fuente: <http://extractores.com.mx>

Centrífugos:

En estos ventiladores, el aire entra por el canal de aspiración que se encuentra a lo largo de su eje, cogido por la rotación de una rueda con alabes. Ofrece la más alta presión estática y un flujo mediano. Su eficiencia varía entre 60% y 80%, pueden trabajar a altas velocidades. Son ventiladores que pueden considerarse “quietos” si se observa su cueva característica, produce menos ruido que las axiales, son rígidos, son más serviciales pero mucho más costosos.

Figura 2.18. Ventilador centrifugo



Fuente: Ecotecnica, Ingenieros asociados

2.35 SELECCIÓN DE VENTILADORES

Como datos básicos requeridos para seleccionar ventiladores, se debe de tener los siguientes datos:

- Caudal (Q) en pie³/min o min³/seg
- Presión estática (Ps), en pulg de H2O o mm H2O
- Diámetro máximo del ventilador, en pulg o mm
- Densidad del aire o altura sobre el nivel del mar
- Energía disponible

Según Atkinson para la selección del se utiliza la siguiente formula

$$P = \frac{Q * P_D}{1000 * \eta}$$

Dónde:

P_D: Caída de presión (Pa)

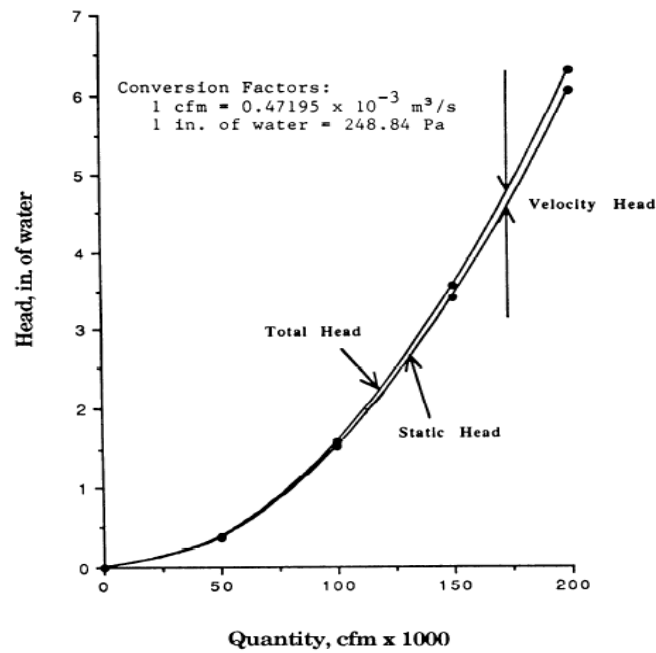
Q: Caudal que se requiere (m³/s)

n: Eficiencia

2.36 CURVA CARACTERÍSTICA DE MINA SUBTERRÁNEA

Existe una relación entre el caudal que atraviesa un ventilador y la elevación de presión que genera entre su aspersion y su impulsión que se denomina **curva característica del ventilador**, lo más importante de esta grafica es la zona de trabajo estable y el punto de bombeo, punto que representa un estado peligroso de superar ya que el ventilador entra en régimen inestable, produciendo fuertes vibraciones junto con rotura del mismo

Figura 2.19. Curva característica de ventilación de una mina



Fuente: Howard L. Hartman 1992

2.37 SISTEMAS DE CONTROL Y MONITOREO

Según Euler De Souza la tecnología de información cada vez viene desarrollándose de manera muy creciente la cual se ve como una oportunidad del mercado para la optimización de los procesos.

2.38 VARIADORES DE VELOCIDAD

Un variador de velocidad flexibiliza los procesos porque permite que los motores trabajen a diferentes velocidades. Esto se traduce en

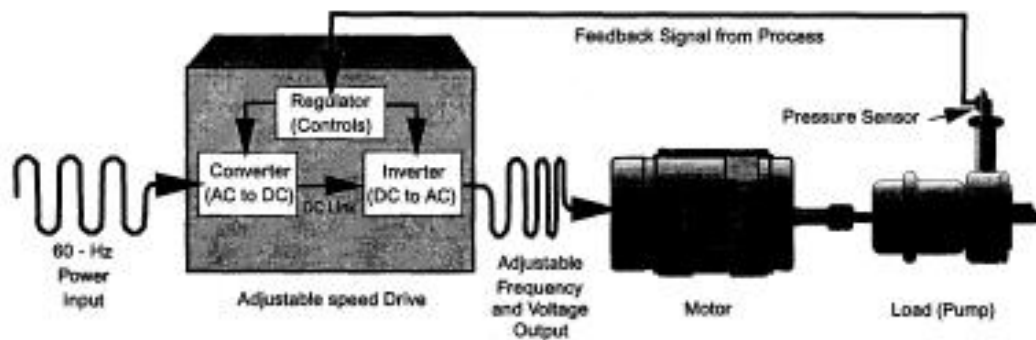
- Mayor productividad
- Menor mantenimiento
- Ahorro de energía

- Control más simple

Se utilizan estos equipos cuando las necesidades de la aplicación sean:

1. Dominio de par y la velocidad.
2. Regulación sin golpes mecánicos.
3. Movimientos complejos.

Figura 2.20. Diagrama de ventilación

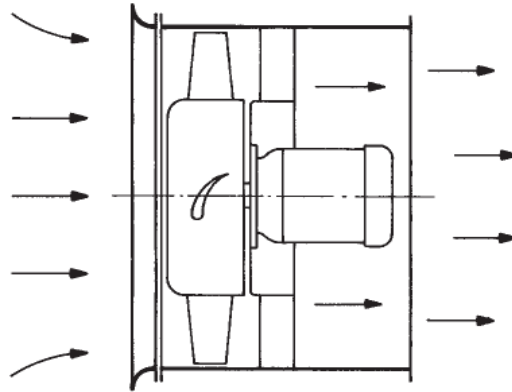


Fuente: schneider-electric.com.

2.39 TECNOLOGÍA DE LOS VENTILADORES AXIALES

Los ventiladores axiales encuentran su campo de aplicación en aquellos casos en los que se desea mover un gran caudal contra una diferencia de presión pequeña. La dirección de la corriente es puramente axial, de modo que la forma constructiva del ventilador se adapta perfectamente para su incorporación directa en la conducción. Las aletas, de perfil aerodinámico, se disponen radialmente en torno al moyú y su ángulo de ataque es regulable en paro, lo que permite adaptar el ventilador a condiciones de servicio variables. El ventilador axial suele incorporar aletas directrices, colocadas en la salida o en la entrada del aire, con el propósito de disminuir la rotación del fluido descargado, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento de la energía que suministran las palas de la rueda.

Figura 2.21. Diagrama de salida de aire

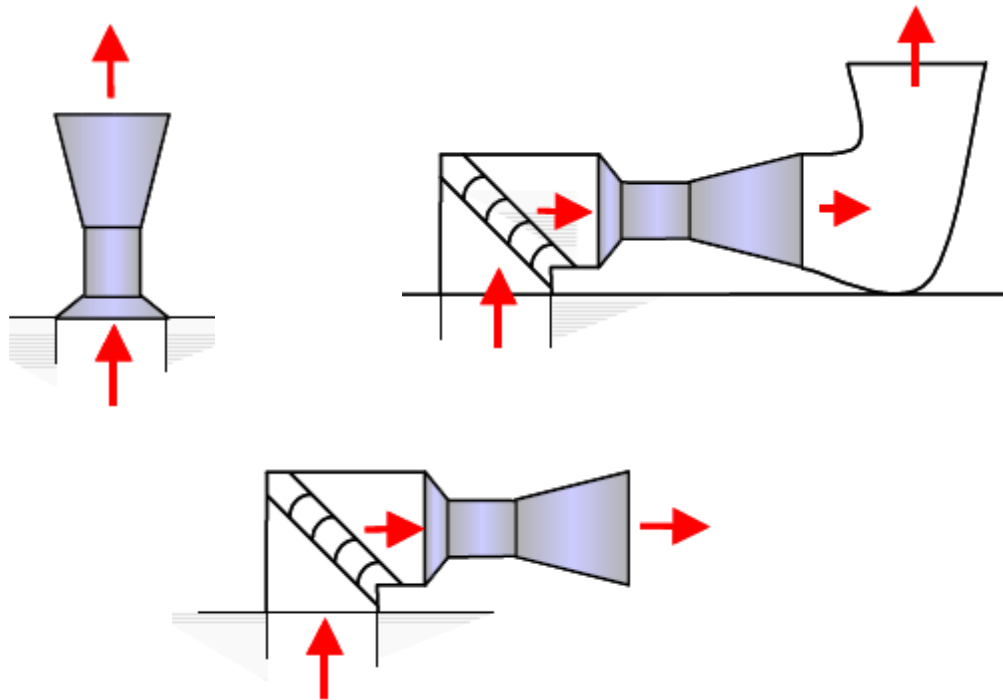


Fuente: Zitron

2.40 TIPOS DE CONFIGURACIÓN DE UN VENTILADOR AXIAL

Un ventilador puede ser, según su forma constructiva, horizontal o vertical. Los ventiladores horizontales son los más usuales, pero los verticales son más aconsejables para ciertos tipos de aplicaciones. Es este el caso en los ventiladores exteriores de minería profunda, donde la configuración vertical reduce las pérdidas de carga del circuito, al evitarse el tener que construir un codo para dirigir el flujo. Este codo genera unas pérdidas de carga importantes, que se traducen en más potencia a instalar. Todo esto se evita con una configuración de ventilador vertical.

Figura 2.22. Formas de salida de aire de ventiladores



Fuente: Zitron

En las figuras podemos observar las tres configuraciones clásicas para ventiladores axiales de extracción de aire en minas subterráneas y túneles. Arriba a la izquierda la configuración vertical. Arriba a la derecha la configuración horizontal con salida vertical. Abajo a la izquierda tenemos la configuración horizontal con salida horizontal. Se aprecia la necesidad de construir un codo para dirigir el flujo de aire hacia el ventilador, con los inconvenientes que como hemos visto acarrea.

2.41 COMPARATIVA DE VENTILADORES AXIALES FRENTE A VENTILADOR CENTRÍFUGOS (AXIALES)

Las diferencias que se tiene al utilizar un ventilador axial frente a un centrífugo son las siguientes:

- Los ventiladores axiales ofrecen mejor eficiencia en un amplio rango de puntos de funcionamiento, mientras que los ventiladores centrífugos pueden tener un rendimiento

muy alto, pero solamente sobre un rango muy reducido, y sólo sobre una curva característica. Este parámetro es muy importante ya que el coste de la energía es un factor que se tiene muy en cuenta. Por tanto, el rendimiento tiene una importancia primordial, y como es lógico, primará conseguir rendimientos elevados en grandes gamas de puntos de funcionamiento, objetivo mucho más difícil de conseguir con ventiladores centrífugos que con ventiladores axiales.

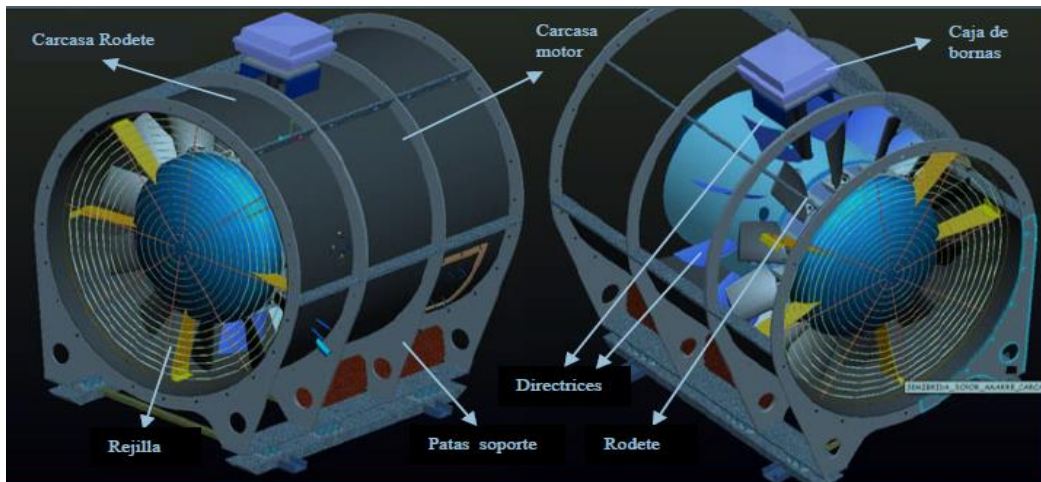
- Si un ventilador centrífugo diseñado para un punto de funcionamiento determinado ha de trabajar en otras condiciones, debido, por ejemplo, a un cambio en las condiciones resistentes de la mina, tendrá presumiblemente una disminución de rendimiento considerable.
- La presencia de agua es perjudicial para los ventiladores centrífugos, ya que el rodete de estos, presentan en su configuración huecos que acumulan agua mientras trabajan, produciendo un desequilibrio en el ventilador que degenera en vibraciones. Un ventilador axial tiene más versatilidad en la regulación que un ventilador centrífugo, ya que podemos actuar sobre el ángulo de posición de los álabes y sobre la velocidad de rotación con un variador de frecuencia.
- Mayor rendimiento mecánico de los ventiladores axiales, ya que los ventiladores centrífugos transmiten el movimiento desde motor al rodete con transmisión por correas o mediante otros tipos transmisiones. Esto implica una serie de complicaciones adicionales frente a un ventilador axial, ya que además de la pérdida de rendimiento por transmisión, podrían aparecer más frecuentemente fenómenos de vibraciones debido a que es un sistema mecánico más complejo.

2.42 COMPONENTES DE VENTILADORES AXIALES

Los ventiladores axiales constan de los siguientes elementos:

- Parte activa del ventilador, que será el elemento principal del ventilador donde están integrados el motor, el rodete de álabes, las directrices. Generalmente estará constituida por dos carcasas, la carcasa del rodete y la carcasa del motor.
- Compuerta motorizada, tipo “todo o nada”, generalmente un dámper de lamas paralelas o una guillotina.
- Difusor, cuya principal misión es la de desacelerar el caudal de aire a la salida de la parte activa, con el fin de reducir la presión dinámica y como consecuencia reducir la pérdida de carga en presión.
- Carcasas de medición. Son carcasas adicionales en las que se miden los parámetros presión y caudal del ventilador. Generalmente se instala una en el lado de aspiración de la parte activa del ventilador. Opcionalmente puede ir integrada en la parte activa del ventilador, dentro de la carcasa rodete, aunque para ello esta debiera ser más larga.
- Conexión del ventilador al circuito. Si el ventilador está en exterior, en un extremo del circuito, la conexión se realiza o mediante un codo si es que se conecta a un pozo o mediante una conexión a pared si es que se conecta a un tabique. Si el ventilador está dentro del circuito, para generar la presión sobre éste hay que conectar el ventilador por uno de sus lados a un tabique. Si se hace por el lado de aspiración se utiliza una conexión a pared tipo redondo-cuadrado, pero se realiza por el lado de impulsión, por ejemplo al final del difusor, el ventilador la parte activa del ventilador necesitará una tobera de admisión

Figura 2.23. Partes de un ventilador

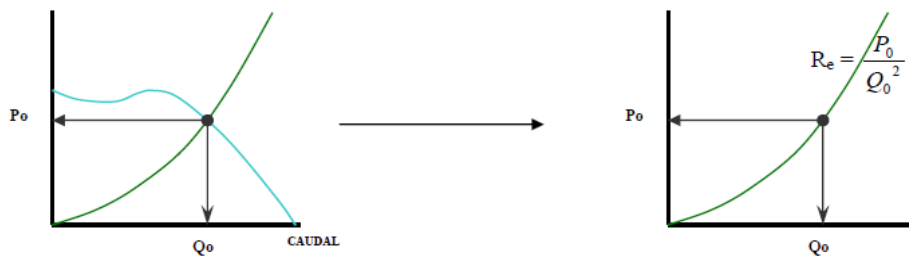


Fuente: Zitron

2.43 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN VENTILADOR

Un ventilador podemos caracterizarlo por su curva, que es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento del mismo. Para cada ángulo de regulación de los álabes tendremos una curva distinta. El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito es el punto de funcionamiento del ventilador, (P_0, Q_0) . Con un punto de funcionamiento, estamos definiendo el punto de corte de la curva característica del ventilador con la curva resistente del circuito de ventilación. Por tanto, el punto P_0 y Q_0 pertenece a la curva resistente de la mina.

Figura 2.24. Curvas características de un ventilador



Fuente: Zitron

2.44 CIRCULACIÓN DEL AIRE

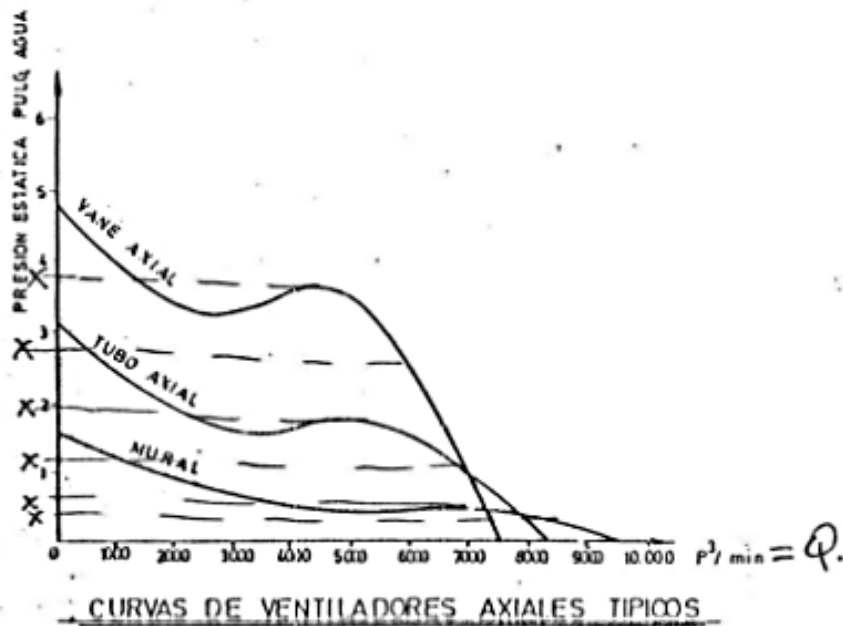
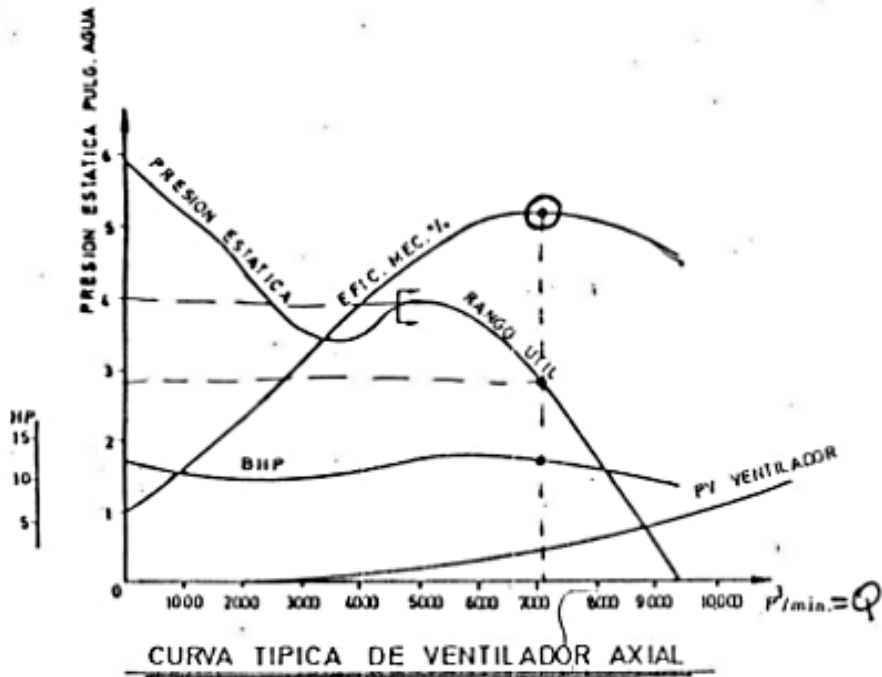
El aire circula por un conducto gracias a la diferencia de presión que existe entre sus extremos. Para diferencias de nivel de hasta 100 m, velocidades inferiores a 50 m/s (caso que puede considerarse al aire como incompresible) y régimen estacionario

2.45 VENTILADORES AXIALES, DESCRIPCIÓN Y CURVAS DE OPERACIÓN

Los ventiladores axiales están compuestos básicamente de un rotor de dos a 13 paletas, solidario a un eje propulsor movido por un motor que impulsa aire en una trayectoria recta, con salida de flujo helicoidal. Existen 3 tipos básicos de estos ventiladores que son:

- **TIPO PROPULSOR O DE PARED:** Que es el típico ventilador para bodegas industriales, de baja presión estática (0,5 a 1,5 pulg. de columna de agua) con caudales variables según su diámetro.
- **TIPO TURBO – AXIAL:** Es aquel que tiene su rotor y motor dentro de una carcasa cilíndrica, lo que incrementa su capacidad y presión estática hasta valores de 6 pulg. columna de agua, apropiada para ser conectados a ductos, campanas, torres de enfriamiento, y para operar en serie.
- **TIPO VANE – AXIAL:** Es similar al anterior, pero además posee un juego de paletas guías fijas a la carcasa (vanes, venas) que le permite obtener una más alta presión estática de trabajo (de 6 a 13 ó más pulgadas de agua en casos de diseños especiales)

Figura 2.25. Curvas de operación de ventiladores



Fuente: <http://extractores.com.mx>

2.46 DISEÑO DE DUCTOS

La función de los ductos en un sistema de ventilación exhaustiva localizada es dotar de un canal para transportar el aire contaminado o no contaminado desde la campana hasta el punto de descarga. En la selección del conducto se tendrá en cuenta:

- Que la velocidad del fluido no sea menos de una mínima denominada velocidad de transporte.
- Que el conducto y los accesorios ofrezcan la menor resistencia al flujo de aire o sea las mínimas pérdidas por fricción.

Según la ecuación de continuidad para hallar el diámetro del ducto, trabajaremos con siguiente ecuación, para el diámetro mayor de la tubería.

$$d = 2x\sqrt{\frac{Q}{(v)(\pi)}}$$

Q = Caudal total

V = Velocidad

Para el diámetro menor de la tubería, trabajaremos con la siguiente ecuación

$$d = \sqrt{4xQ/\pi V}$$

Q = Caudal en el segundo tramo

V = velocidad en la manga del segundo tramo

2.47 PÉRDIDA POR FRICCIÓN

En 1850 el Ing. de minas John Atkinson, establece que la diferencia de presión requerida para inducir un flujo de aire a través de una galería de mina, es proporcional al cuadrado de la velocidad por la longitud del perímetro e inverso al área de la misma.

Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula

$$H_f = \frac{KLOV^2}{A}$$

Dónde:

H_f : pérdida de presión expresadas en pulg. de H₂O

L: longitud total (Longitud real + longitud equivalente)

O: perímetro

A: sección

K: Factor de fricción

V: velocidad de partícula

2.48 VELOCIDAD DE TRANSPORTE

Esta velocidad debe ser lo suficiente para evitar la sedimentación o la acumulación de los materiales que se mueven a través de los ductos, pero no excesivamente alta, ya que puede causar un rápido deterioro de las tuberías por abrasión. Por lo tanto, el mínimo diseño debe ser tal que los valores teóricos y/o experimentales protejan a la vez de algunos inconvenientes que se pueden presentar como:

- El taponamiento o encerramiento de uno o más brazos del sistema, lo cual reduce el volumen total de succión y además reduce la velocidad en algunas secciones del sistema de ductos.
- El daño de ductos, por ejemplo la presencia de dientes (o salientes), lo cual incrementa la resistencia al movimiento del fluido y disminuye el volumen y la velocidad, desbalanceando el sistema.
- El escape en los ductos que puede incrementar el flujo y la velocidad después de la abertura (o grieta), pero se reducen antes de ella y en otros tramos del sistema.
- La corrosión o erosión del ventilador o aún la pérdida de eficiencia del ventilador, lo cual podrá reducir el flujo y la velocidad.

- Las velocidades deben ser adecuadas para remover o reentrar el polvo que se ha asentado durante una operación impropia del sistema de ventilación.

2.49 PÉRDIDAS EN TRAMOS RECTOS

Estas pérdidas se pueden obtener por medio de la expresión matemática de HVAC (HEATING VENTILATING, AND AIR CONDITIONING) CALEFACCIÓN Y AIRE ACONDICIONADO, y la norma ASHRAE, AIRTEC PERU utiliza los métodos de cálculos de las normas mencionadas.

$$h_f = F * L$$

h_f = pérdida por fricción en la manga flexible

F= factor de fricción de la manga flexible

L= longitud de la manga en el tramo

2.50 VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE

Como se vio anteriormente, la densidad del aire cambia con la variación de la presión y la temperatura; por lo tanto cuando se requiere trabajar con flujos de diferente densidad a la normal es necesario calcular el factor de corrección (n'). El Factor de corrección es $n' = \rho' / \rho$ (densidad real/densidad normal) para flujos iguales. Para realizar la corrección por densidad, es necesario tener en cuenta las siguientes condiciones:

- Ignore los cambios de temperatura entre 40 y 100° F.

El paso de °C a °F se hace por medio de la expresión: °F = 1.8 °C + 32

El factor de corrección, será utilizado en la selección del ventilador, como se explica en el capítulo de cálculos y parte técnica.

2.50.1 Tuberías rectangulares, cuadradas y redondas

Las tuberías se construyen cuadradas, rectangulares y redondas principalmente. Los gráficos de los manuales de ventilación para pérdidas por fricción son para tuberías circulares. Para otras formas, se puede calcular de la siguiente manera:

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

donde:

Q = Caudal

D = Diámetro

V = Velocidad

Dejando fija la capacidad y las pérdidas por fricción, se pueden convertir los ductos circulares a rectangulares o cuadrados y viceversa, conociendo el diámetro del círculo o los lados respectivamente.

2.51 PÉRDIDAS EN ACCESORIOS O LOCALIZADAS

En los ductos, cualquier elemento o dispositivo que venga a establecer o a elevar la turbulencia, cambiar la dirección o alterar la velocidad, origina pérdida de carga. Entre estos se encuentran ensanchamientos, estrechamientos, uniones, codos, entradas, expansiones y contracciones en tubería, etc.

Estas son las pérdidas denominadas localizadas, locales, accidentales o singulares debido a que resultan específicamente de partes bien determinadas de la tubería, las cuales se pueden expresar de dos formas:

- Expresión matemática general de pérdidas locales.
- Método de las longitudes equivalentes.

Para las pérdidas en los accesorios trabajamos a través de tablas proporcionadas por HVAC (HEATING VENTILATING, AND AIR CONDITIONING) CALEFACCIÓN Y AIRE ACONDICIONADO estas pérdidas son:

- Pérdidas en la reducción
- Pérdidas en T
- Pérdidas en la entrada y salida del ventilador
- Pérdidas en dámper

El modo general de expresar las pérdidas de cargas localizadas, se hace en función de la presión dinámica que pasa a través del punto, multiplicada por un factor (n) que dependerá de cada tipo de elemento, fundamentalmente de su forma y dimensión. O sea que:

$$hf = n V^2/2g$$

El coeficiente n puede ser obtenido experimentalmente para cada caso.

2.51.1 Método de longitudes equivalentes

El presente método consiste en que accesorios o piezas especiales en ductos, desde el punto de vista de pérdidas de carga, equivalen a una tubería rectilínea de mayor extensión. En otras palabras, se puede decir que son longitudes o extensiones de tubo que corresponden a la misma pérdida de carga que causarían los accesorios existentes en la tubería.

Estos valores de longitudes equivalentes para las diferentes piezas han sido calculados para materiales como hierro, lámina galvanizada, pvc entre otros.

$$Hf = \frac{\eta' c.a.}{100 * l}$$

Hf = Pérdida

100 = Factor de conversión

L = Longitud del tramo

2.52 CÁLCULO DE DUCTOS

Desde el punto de vista neumático, el diseño de un sistema de ductos para extracción requiere la determinación de:

- El flujo de aire que entra a cada campana.
- La presión de succión en cada campana.
- La tasa de flujo en cada tramo de ducto.
- La velocidad en cada tramo de ducto.
- El flujo de aire que va a manejar el ventilador
- La presión de succión y de impulsión a la entrada y salida del ventilador respectivamente.

A menos que el diseñador pueda calcular estos valores con razonable precisión, no hay seguridad de que un sistema de tubería dado llene exactamente los requisitos, ni se puede predecir que los requisitos de potencia del sistema estén dentro de los límites de precisión esperados en ingeniería.

2.52.1 Bosquejo del procedimiento de diseño de ductos

La siguiente es la secuencia preferida de diseño, aunque puedan existir cambios en el orden de varias etapas:

- Elabore un plano del área, preferiblemente a escala, con el equipo que va a llevar la extracción.
- Haga una lista del equipo, el número y tamaño de los ramales de ductos y la succión mínima esperada, además la velocidad y el flujo en cada campana.
- Haga suficientes bosquejos de campanas a mano alzada para permitir calcular los coeficientes de entrada, haciendo la descripción del equipo con los datos que se mencionan anteriormente.

- Seleccione la velocidad de transporte mínima necesaria para cada sección del sistema, dependiendo de la naturaleza del material que va a ser transportado por ellas.
- Calcule la tasa de flujo en cada campana y sume estos valores en la tabla de los cálculos
- Estudie los planos y bosquejos y las distribuciones posibles de tubería. A menos que factores de operación como accesibilidad, estructuras de soporte disponibles o condiciones del lugar, obliguen a otro arreglo. Localice el extractor en forma que los tramos de ducto sean tan cortos como sea posible y que los ramales de menor diámetro con sus pérdidas de fricción más altas puedan entrar al ducto principal cerca a la entrada del ventilador, con la mínima distancia desde la campana hasta el ducto principal.

Hasta aquí no se necesita hacer cálculos de fricción y todos los valores son aproximados. Los bosquejos no necesitan ser precisos, ya que el propósito de esta parte es llegar tan rápido como sea posible a una etapa donde se pueda aplicar un amplio juicio general.

2.53 NECESIDADES DE CÁLCULO SISTEMÁTICO

El flujo de cálculos empieza en el extremo de la entrada del ramal más alejado del ventilador y continúa paso a paso a través del ducto principal y los restantes ramales hasta llegar al ventilador. Los cálculos son progresivos y los valores acumulativos. Por esto, los errores en suposiciones, métodos y operaciones aritméticas alcanzan proporciones serias en el ventilador. Es por lo tanto necesario un método de cálculo sistemático y ordenado y una tabulación de los resultados, lo cual debe seguirse en forma estricta. Las oportunidades de error son tan numerosas que todos los cálculos deben colocarse en forma que pueda facilitar el chequeo. Por eso se recomienda utilizar formatos impresos que reflejen la práctica normal de los ingenieros, lo cual conlleva a un trabajo sistemático.

2.54 MÉTODOS DE CÁLCULO

Se utilizan varios procedimientos para el diseño de Sistemas. En la ventilación industrial existen cuatro (4) métodos principales.

- Método de compuerta.

En este método el criterio de diseño consiste en calcular los diámetros de los conductos utilizados, es decir los diámetros de las mangas de ventilación que hay dentro del túnel, donde el caudal es el caudal de diseño adecuado para el área de trabajo y la velocidad de transporte es la adecuada.

Con estas dos resultantes se diseñara el sistema con un agregado de compuertas de regulación, la velocidad se adecuara a las necesidades del sistema.

- Método de plenum.

El termino plenum se refiere al espacio cerrado, usualmente por encima de techo falso, conectando los ductos de aire acondicionado y que forma parte de distribución, a este espacio cerrado también se le conoce como cámara plana.



- Método de presión de velocidad.

La selección del método de presión de velocidad dentro de un conducto depende de las características de los contaminantes que hay dentro del ducto de ventilación, esto

dependerá del área de trabajo, del tipo de ventilación que se ofrece, del tipo de material con el cual se trabaja, entre otros.

Cuando la velocidad disminuye, aumenta la sección en la tubería o ducto, debido a que no hay cantidad adecuada de aire dentro del mismo, disminuyendo las caídas de presión y esto aumentara los costos de instalación.

- Método de longitud equivalente.

Los ductos utilizados en la distribución de aire pueden ser circulares o rectangulares, pero esto debido a que la mayoría de tablas y expresiones se dan para conductos circulares, resulta muy útil el método de longitudes equivalentes.

Este método nos permite poder tomar equivalencias similares en cuanto al volumen de aire de una manga circular con respecto a una manga de forma cuadrada, además de que su montaje y mantenimiento es de menor costo.

2.55 NORMATIVA Y LEYES

APRUEBAN REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN MINERÍA

DECRETO SUPREMO N° 024-2016-EM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Supremo N° 014-92-EM, se aprueba el Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, estableciéndose en su Título Décimo Cuarto, denominado Bienestar y Seguridad, ciertas obligaciones que los titulares de la actividad minera tienen frente a sus trabajadores;

Que, mediante el artículo 1 del Decreto Supremo N° 055-2010-EM, se aprobó el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, el cual tuvo como objetivo prevenir la ocurrencia de incidentes, accidentes y enfermedades ocupacionales, promoviendo una cultura de prevención de riesgos laborales en la actividad minera, contando con la participación de los trabajadores, de los empleadores y del Estado;

Que, por Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, se dispuso promover una cultura de prevención de riesgos laborales en el país, mediante el deber de prevención de los empleadores, el rol de fiscalización y control del Estado y la participación de los trabajadores y sus organizaciones sindicales, quienes -a través del diálogo social- velan por la promoción, difusión y cumplimiento de la normativa sobre la materia;

Que, el artículo 2 de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo precisa que su aplicación está dirigida a todos los sectores económicos y de servicios, incluyendo a todos los empleadores y

los trabajadores bajo el régimen laboral de la actividad privada en todo el territorio nacional, trabajadores y funcionarios del sector público, trabajadores de las Fuerzas Armadas y de la Policía Nacional del Perú, y trabajadores por cuenta propia;

Que, las Disposiciones Complementarias Finales de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo señalan que los ministerios, instituciones públicas y organismos públicos descentralizados adecúan sus reglamentos sectoriales de seguridad y salud en el trabajo a la mencionada Ley y ordenan que se transfieran las competencias de supervisión, fiscalización y sanción en materia de seguridad y salud en el trabajo establecidas en la Ley N° 28964, Ley que transfiere competencias de supervisión y fiscalización de las actividades mineras al OSINERG, al Ministerio de Trabajo de Promoción del Empleo en el subsector minería

Subcapítulo VIII

Ventilación

Artículo 246.- El titular de actividad minera velará por el suministro de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador, así como para mantener condiciones termo-ambientales confortables. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los límites de exposición ocupacional para agentes químicos de acuerdo al ANEXO N° 15 y lo establecido en el Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el Ambiente de Trabajo, aprobado por Decreto Supremo N° 015-2005-SA o la norma que lo modifique o sustituya. Además debe cumplir con lo siguiente:

a) Al inicio de cada jornada o antes de ingresar a labores mineras, en especial labores ciegas programadas, como son chimeneas y piques, deberá realizar mediciones de gases de monóxido

de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, oxígeno y otros, de acuerdo a la naturaleza del yacimiento, al uso de explosivos y al uso de equipos con motores petroleros, las que deberán ser registradas y comunicadas a los trabajadores que tienen que ingresar a dicha labor.

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

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

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

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

f) En labores que posean sólo una vía de acceso y que tengan un avance de más de sesenta metros (60 m), es obligatorio el empleo de ventiladores auxiliares. En longitudes de avance menores a sesenta metros (60 m) se empleará también ventiladores auxiliares sólo cuando las

condiciones ambientales así lo exijan. En las labores de desarrollo y preparación se instalará mangas de ventilación a no más de quince metros (15 m) del frente de disparo.

g) Cuando existan indicios de estar cerca de una cámara subterránea de gas o posibilidades de un desprendimiento súbito de gas, se efectuará taladros paralelos y oblicuos al eje de la labor, con por lo menos diez metros (10 m) de avance.

Artículo 249.- Se tomarán todas las providencias del caso para evitar la destrucción y paralización de los ventiladores principales. Dichos ventiladores deberán cumplir las siguientes condiciones:

1. Ser instalados en casetas incombustibles y protegidas contra derrumbes, golpes, explosivos y agentes extraños. Los ventiladores en superficie, así como las instalaciones eléctricas deben contar con cercos perimétricos adecuados para evitar el acceso de personas extrañas. Contar con otras precauciones aconsejables según las condiciones locales para protegerlas.
2. Tener, por lo menos, dos (2) fuentes independientes de energía eléctrica que, en lo posible, deberán llegar por vías diferentes.
3. Estar provistos de silenciadores para minimizar los ruidos en áreas de trabajo o en zonas con poblaciones donde puedan ocasionar perjuicios en la salud de las personas.

Artículo 252.- Se efectuarán evaluaciones integrales del sistema de ventilación de una mina subterránea cada semestre y evaluaciones parciales del mismo cada vez que se produzcan comunicaciones de labores y cambios en los circuitos de aire. Controles permanentes de ventilación se efectuarán en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación donde haya personal trabajando.

La evaluación integral de ventilación deberá considerar:

- a) Ubicación de estaciones de control de ventilación.
- b) Circuitos de aire de la mina.
- c) Balance de ingresos y salidas de aire de la mina. La diferencia de caudales de aire entre los ingresos y salidas de aire no deberá exceder el diez por ciento (10%).
- 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.
- e) Los requerimientos de aire para los equipos diésel deberá considerar la capacidad máxima de HPs.
- f) Cobertura de la demanda de aire de la mina con el aire que ingresa a la misma.
- g) Cobertura de las demandas de aire en las labores de exploración, desarrollo, preparación y explotación de la mina.
- h) Mediciones de Oxígeno, Dióxido de Carbono, gases tóxicos y temperatura ambiental en las vías principales de la mina y labores en operación.
- i) Ubicación de ventiladores, indicando capacidad de diseño y operación.
- j) Disponibilidad de las curvas de rendimiento de los ventiladores.

k) Planos de ventilación de la mina, indicando los circuitos de aire y estaciones de control, ubicación de ventiladores, puertas de ventilación, tapones y otros.

Las evaluaciones de ventilación y mediciones de la calidad del aire se harán con instrumentos adecuados y con calibración vigente para cada necesidad

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CÁLCULOS TÉCNICOS

Teniendo en cuenta los siguientes datos para la velocidad del aire:

1. De 1 500 a 3 000 m.s.n.m, aumentará en 40% que será igual a 4 m³/min
2. De 3 000 a 4 000 m.s.n.m, aumentará en 70% que será igual a 5 m³/min
3. Sobre los 4 000 m.s.n.m, aumentará en 100% que será igual a 6 m³/min
4. En el caso de emplearse equipo diésel, la cantidad de aire circulante no será menor de tres 3 m³/min por cada HP que desarrollen los equipos.

En ningún caso, la velocidad del aire será menor de 20 m/min (0.33m/seg) ni superior a 250 m/min (4.16m/ seg) en las labores de explotación; incluido el desarrollo, preparación y en todo lugar donde haya personal trabajando.

Cálculo para la demanda de aire requerido dentro de un túnel de una mina o una mina subterránea: El titular minero dotará de aire limpio a las labores de trabajo de acuerdo a las

necesidades del trabajador, de los equipos y para evacuar los gases, humos y polvo suspendido que pudieran afectar la salud del trabajador. Todo sistema de ventilación en la actividad minera, en cuanto se refiere a la calidad del aire, deberá mantenerse dentro de los límites de exposición. Para el cálculo de la demanda de aire producto de las operaciones de la minera Shougang Hierro Perú, túnel de planta chancadora, se utilizó como parámetros la normativa actual vigente: D.S.024-2016EM, Artículo 236° con el fin de estimar las cantidades de aire requeridas.

Este requerimiento de aire está dado por los siguientes:

- Requerimiento de aire para personal en general x turno
- Requerimiento de aire para la cantidad total en HP de los equipos a combustión diésel.

Para el cálculo, se desarrollará el siguiente procedimiento:

$$\text{N}^\circ \text{ Personas} \times 6 \text{ m}^3/\text{min} \times 35.3 \text{ ft}^3/\text{m}^3 = Q_1 \text{ cfm}$$

$$\text{N}^\circ \text{ HP de total de equipos} \times 3 \text{ m}^3/\text{min} \times \text{hp} \times 35.3 \text{ ft}^3/\text{m}^3 = Q_2 \text{ cfm}$$

$$\text{Total requerimiento de ventilación} = Q_1 + Q_2$$

Tabla 3.1 . Altitudes y temperaturas

TABLE 1.1 Temperature, Pressure, and Density versus Altitude

Altitude, ft	Temperature, °F	Atmospheric pressure, inHg	Air density, lbm/ft ³
0	59.0	29.92	0.0765
1,000	55.4	28.86	0.0743
2,000	51.8	27.82	0.0721
3,000	48.4	26.81	0.0700
4,000	44.8	25.84	0.0679
5,000	42.1	24.89	0.0659
6,000	37.6	23.98	0.0639
7,000	34.0	23.09	0.0620
8,000	30.6	22.22	0.0601
9,000	27.0	21.38	0.0583
10,000	23.4	20.58	0.0565
11,000	19.8	19.79	0.0547
12,000	16.2	19.03	0.0530
13,000	12.6	18.29	0.0513
14,000	9.2	17.57	0.0497
15,000	5.5	16.88	0.0481
20,000	-12.3	13.75	0.0407
25,000	-30.1	11.10	0.0343
30,000	-48.1	8.88	0.0286
35,000	-65.8	7.04	0.0237
40,000	-69.7	5.54	0.0188
45,000	-69.7	4.35	0.0148
50,000	-69.7	3.42	0.0116
55,000	-69.7	2.69	0.0092
60,000	-69.7	2.12	0.0072
65,000	-69.7	1.67	0.0057

Fuente: Robert Jorgensen. Fan Engineering

La temperatura ambiente de la minera Shougang Hierro Perú, es 14.82 C° a una altitud de 24 m.s.n.m. (78.74´)

3.1 CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE AIRE PARA EL PERSONAL DENTRO DEL TÚNEL

Tabla 3.2. Total de aire que requiere el personal dentro del túnel

Empresas	Nº de trabajadores	m ³ / min	m ³ / min
S.H.P.	7	6	42
Thicegen	6	6	36
CVC	6	6	36
Otros	2	6	12
Total	21	6	116

Fuente: Carlos Alberto Echeverri L., Ventilación industrial

Sabiendo que el túnel (área de trabajo) tiene una altura de 3m y un ancho de 3m, procederemos hallar el área.

A= Área de semicircunferencia + el área del rectángulo.

3.2 CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE AIRE PARA LOS EQUIPOS DENTRO DEL TÚNEL

Tabla 3.3. Aire requerido por los equipos dentro del túnel

N	Equipos	Hp	m ³ /min	F.S.	m ³ /min
15	Chutes	-	3	0.5	1.5
15	Fieders	-	3	0.5	1.5
2	Motores	200	3	0.5	300
1	Motor	40	3	0.5	60
2	Fajas	-	3	0.5	1.5
4	Gay tronic	-	-	-	-
15	Motores de fieders	2	3	0.5	3
				Total	367.5

Fuente: Carlos Alberto Echeverri L., Ventilación industrial

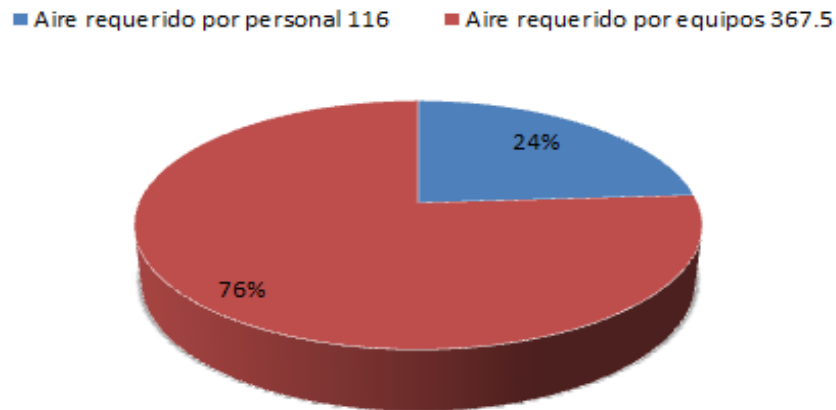
Requerimiento total de aire dentro del túnel (Personal + Equipos)

$$(Q1+Q2)35.31 = \text{Cfm}$$

$$(116 + 367.5) \times 35.31 = 17072,385 = 17100 \text{ CFM}$$

Figura de torta de distribución requerida dentro del túnel de planta chancadora en San Nicolás, en la mina Shougang Hierro Perú.

Gráfico. 3.4. Tarta de distribución de aire requerido



Fuente: Elaboración propia de acuerdo al cálculo requerido de aire de la minera Shougang Hierro Perú.

3.3 CÁLCULO DE LA DIFERENCIA DE PRESIÓN

La diferencia de presión del túnel está dada por la ecuación de Atkinson.

Ecuación de Atkinson →

Donde:

P_D : Caída de presión (Pa)

K: Factor de fricción ($N \cdot s^2 / m^4$)

C: Perímetro SNV (m)

L: Longitud SNV (m)

V: Velocidad (s/m)

A: Área (m^2)

$$P_D = \frac{K * C * L * V^2}{A}$$

Sabiendo que:

$$Q = V * A$$

La fórmula anterior se puede expresar como:

$$P_D = \frac{K * C * L * Q^2}{A^3}$$

Para el factor de fricción K, usaremos tablas para valores de K estándar basada en un peso específico del aire de $w = 0.0750 \text{ lb/ft}^3$ (1.201 Kg/m^3), obtenido de la tabla. El valor obtenido debe ser corregido por el cambio del peso específico del aire de la mina, es así que:

$$k_{\text{corregido}} = k_{\text{tabla}} * \left(\frac{W_{\text{msnm}}}{1.201} \right)$$

Donde: W_{msnm} = Peso específico del aire a una altura sobre el nivel del mar.

K_{tabla} = Factor de fricción obtenido de la tabla

Teniendo en cuenta que la mina Shougang Hierro Perú se encuentra a 27m.s.n.m. y para encontrar el factor de fricción en la tabla, nos ponemos en la situación más crítica que se puede encontrar en la geología de las vías de ventilación que sería de roca ígnea, la cual tiene factores de fricción más altos tal como se muestra en la tabla, entonces tenemos que el valor de k:

$$K_{\text{tabla}} = 160 * 10^{-10} \text{ lb} - \text{min} / \text{ft}^4$$

$$K_{\text{tabla}} = 0.0296 \text{ N.S}^2 / \text{m}^4$$

$$K_{\text{corregido}} = 0.031 \text{ N} * \text{s}^2 / \text{m}^4$$

- El factor K corregido se ha determinado para una altura de 27 m.s.n.m, teniendo en cuenta que la mina Shougang Hierro Perú se encuentra a esa altura.

Tabla 3.4. Factores de fricción para vías de ventilación de una mina

TABLE 5.1 Friction Factor K for Noncoal Mine Airways and Openings

		Values of $K \times 10^{10}$ ^a											
Type of Airway	Irregularities of Surfaces, Areas, and Alignment	Straight			Sinuous or Curved								
		Clean (Basic Values)	Slightly Obstructed	Moderately Obstructed	Slightly			Moderately			High Degree		
					Clean	Slightly Obstructed	Moderately Obstructed	Clean	Slightly Obstructed	Moderately Obstructed	Clean	Slightly Obstructed	Moderately Obstructed
Smooth lined	Minimum	10	15	25	20	25	35	25	30	40	35	40	50
	Average	15	20	30	25	30	40	30	35	45	40	45	55
	Maximum	20	25	35	30	35	45	35	40	50	45	50	60
Sedimen- tary rock	Minimum	30	35	45	40	45	55	45	50	60	55	60	70
	Average	55	60	70	65	70	80	70	75	85	80	85	95
	Maximum	70	75	85	80	85	95	85	95	100	95	100	110
Timbered (5-ft centers)	Minimum	80	85	95	90	95	105	95	100	110	105	110	120
	Average	95	100	110	105	110	120	110	115	125	120	125	135
	Maximum	105	110	120	115	120	130	120	125	135	130	135	145
Igneous rock	Minimum	90	95	105	100	105	115	105	110	120	115	120	130
	Average	145	150	160	155	160	165	160	165	175	170	175	195
	Maximum	195	200	210	205	210	220	210	215	225	220	225	235

Source: McElroy (1935).

^a To provide correct values of K , the numerical values obtained from the table are multiplied by 10^{-10} and units of $\text{lb}\cdot\text{min}^2/\text{ft}^4$ attached. K is based on standard air specific weight ($w = 0.0750 \text{ lb}/\text{ft}^3$). Recommended values are in italics. To convert K to SI units (kg/m^3), multiply table values by 1.855×10^6 .

Fuente: Curso de Ventilación de minas Shougang Hierro Perú

Remplazando los datos en la ecuación de Atkinson:

$$P_D = \frac{K * C * L * Q^2}{A^3}$$

$$P_D = \frac{0.031 * 9.85 * 900 * 8.057^2}{8.08^3}$$

$$P_D = 6785 Pa$$

$$P_D = 33.82 \text{ ''c.a..}$$

- Presión dinámica dentro del túnel

3.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA PARA LA SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para el cálculo de la potencia de un ventilador en kW, tenemos:

$$P = \frac{Q * P_D}{1000 * \eta}$$

Donde:

P_D : Caída de presión (Pa)

Q: Caudal que se requiere (m^3/s)

n : Eficiencia

Considerando un arreglo del ventilador con acople directo y tomando una eficiencia del motor entre 85% y 95%, tenemos:

$$P = \frac{8.057 * 6785}{1000 * 0.85}$$
$$P = 46.47 Kw$$
$$P = 62.29 Hp = 63 Hp$$

3.5 SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA

Para saber el diámetro adecuado que vamos a utilizar de tubería, nosotros sabemos que el túnel tiene una altura de 4m y un ancho de 3m; con estos datos, hallaremos los diámetros de las 3 secciones. Tenemos un caudal de $8.057 m^3/seg$, la velocidad recomendada según la experiencia ingenieril de una manga o ducto puede variar entre 12 m/s y 30 m/s, para el cálculo de acuerdo a las distintas experiencias en ventilación minera tomaremos una velocidad promedio de 12, entonces tendremos $v = 12 m/s$.

3.5.1 TRAMO 1

Entonces, el diámetro de la manga se calculará con la respectiva siguiente formula:

$$d = 2x \sqrt{\frac{Q}{(v)(\pi)}}$$

$$Q = 12 m^3/s$$

$$d = 0.150m = 1500 mm$$

$$V = 12 m/s$$

3.5.2 TRAMO 2

Cálculo del diámetro de la sección 2 de la manga por la ecuación de continuidad.

$$d = 2x \sqrt{\frac{Q}{(v)(\pi)}}$$

$$d = 0.75 \text{ m} = 750 \text{ mm}$$

Q = Caudal en el segundo tramo = 24 m³/s

V = Velocidad en la manga del segundo tramo = 12 m/s

3.5.3 TRAMO 3

Calculo del diámetro de la sección 3 de la manga, por la ecuación de continuidad.

$$d = 2x \sqrt{\frac{Q}{(v)(\pi)}}$$

$$d = 0.54 \text{ m} = 500 \text{ mm}$$

Q = Caudal en el segundo tramo = 33 m³/s

V = velocidad en la manga del segundo tramo = 12 m/s

3.6 TRAMO 1 DE REDUCCIÓN ENTRE MANGA DE 1 500 MM Y MANGA DE 750 MM

Para el cálculo de acople de reducción entre el diámetro de manga de 1500 mm y la manga de 750 mm, consideraremos 2 veces el diámetro menor = 750mm multiplicado por 2

Datos:

Dm = 1500 mm

Di = 750 mm

* La longitud total de la reducción será de 1500 mm

3.7 TRAMOS 2 DE REDUCCIÓN, ENTRE MANGA DE 750 MM Y MANGA DE 500 MM

Para el cálculo de acople de reducción entre el diámetro de manga de 750 mm y la manga de 500 mm, consideraremos 2 veces el diámetro menor = 500 mm multiplicado por 2.

Datos:

$$D_m = 750 \text{ mm}$$

$$D_i = 500 \text{ mm}$$

* La longitud total de la reducción será 1000 mm

3.8 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL EN CADA ACCESORIO DE TIPO T PARA DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE SALIDA

Teniendo en cuenta que se tienen 3 tramos con diámetros de mangas distintas, se dividirá el caudal de salida en cada accesorio de tipo T con la finalidad de hallar el diámetro del accesorio, teniendo en cuenta que el caudal aumentará en cada manga, se hallara de la siguiente manera.

Tramo III: 500 mm

Fraccionamiento del caudal total entre los 3 tramos de la manga.

$$\frac{Qt}{3t} = \frac{8.057m^3 / seg}{3} = 2.68m^3 / seg$$

Fraccionamos el caudal del tramo 3 para hallar el caudal en cada accesorio tipo T y el diámetro en cada accesorio tipo T.

$$\frac{Qt_3}{4t} = \frac{2.68m^3 / seg}{4} = 0.67m^3 / seg$$

$$Q = 2.68 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$T = 4$$

$$Qt = 0.67 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V = 12 \text{ m/seg}$$

$$d = \sqrt{\frac{0.67 * 4}{12 * \Pi}}$$
$$d = 0.266\text{m} = 266\text{mm} = 10''$$

Tramo II: 750 mm

Debido a que el caudal se incrementará, el caudal del tramo III se multiplicará por 2.

$$Qt_3 * 2 = 2.68\text{m}^3 / \text{seg} * 2 = 5.36\text{m}^3 / \text{seg}$$

Fraccionamos el caudal del tramo 2 para hallar el caudal en cada accesorio tipo T y el diámetro en cada accesorio tipo T.

$$\frac{Qt_2}{4t} = \frac{5.36\text{m}^3 / \text{seg}}{4} = 1.34\text{m}^3 / \text{seg}$$

$$Q = 5.36 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$T = 4$$

$$Qt = 1.34 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V = 12 \text{ m/seg}$$

$$d = \sqrt{\frac{1.34 * 4}{12 * \Pi}}$$
$$d = 0.378\text{m} = 378\text{mm} = 14.88'' = 15''$$

Tramo I: 1500 mm

Debido a que el caudal se incrementará, el caudal del tramo II se multiplicará por 2.

$$Qt_2 * 2 = 5.36m^3 / seg * 2 = 10.09m^3 / seg$$

Fraccionamos el caudal del tramo 1 para hallar el caudal en cada accesorio tipo T y el diámetro en cada accesorio tipo T.

$$\frac{Qt_2}{3t} = \frac{10.09m^3 / seg}{3} = 3.33m^3 / seg$$

$$Q = 10.09 m^3/seg$$

$$T = 3$$

$$Qt = 3.33 m^3/seg$$

$$V = 12 m/seg$$

$$d = \sqrt{\frac{3.33 * 4}{12 * \Pi}}$$
$$d = 0.596m = 596mm = 23.46'' = 24''$$

Nota: Por ser el caudal (Q) en cada boquilla bastante pequeño, subestimaremos las pérdidas del accesorio y solo se considerarán las pérdidas en los accesorios de tipo T.

3.9 CÁLCULO DE LA PRESIÓN TOTAL DEL VENTILADOR AXIAL

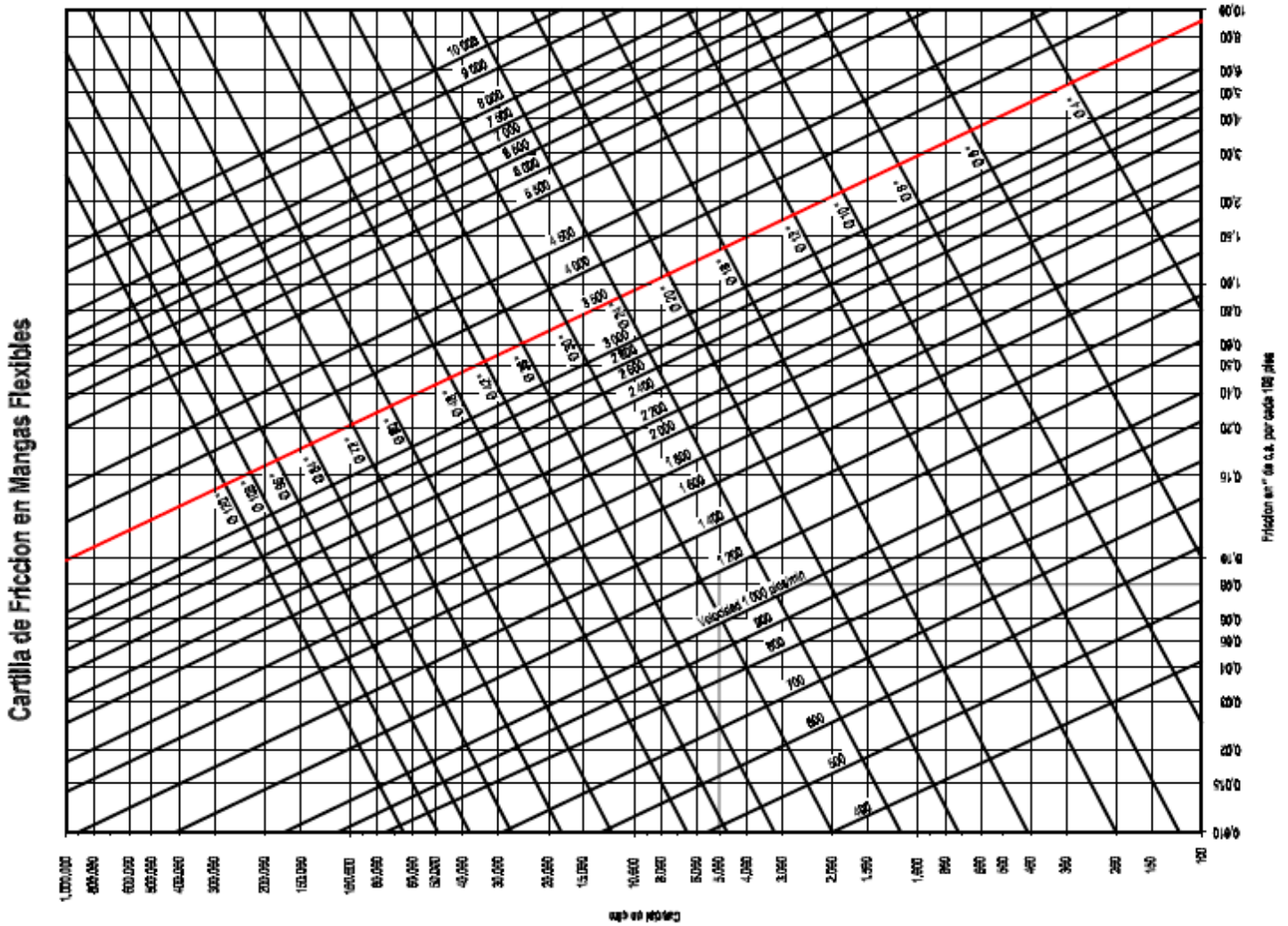
De la ecuación de Bernoulli, se sabe que:

$$H_{Ventilador} = H_{pérdidas}$$

El H del ventilador es igual al H de las pérdidas en todo el sistema de ventilación.

$$H_{\text{pérdidas}} = H_f \text{ ducto 1} + H_f \text{ ducto 2} + H_f \text{ ducto 3} + H_T (11) + H_{\text{Dámper}(2)} + H_{\text{Reducción (2)}} + H_{e/s}$$

Tabla 3.5. Cartilla de fricción en mangas flexibles de PVC



Fuente: Airtec S.A.C.

Procedimiento de utilización de Airtec S.A.C.

1. Cada ventilador tiene una curva característica para cada ángulo de los alabes
2. Con el valor del caudal en cada manga sumatoria de caudales de extracción de aire en cada accesorio de tipo T), se traza una perpendicular hasta la intersección con la curva característica

de presión total, con el ángulo correspondiente de los alabes (80°). De esta intersección, se traza una horizontal hacia el eje de la izquierda, allí se puede leer la Presión Total entregada por el ventilador, obtendremos 5.5 “H2O.

3. Con el valor del caudal medido en CFM, se traza una perpendicular hasta la intersección con la curva de presión dinámica del ventilador, de este punto se traza una horizontal hacia el eje de la izquierda, allí se lee la presión dinámica

4. La presión Estática se obtiene restando la Presión dinámica, de la Presión Total.

5. Con el valor del caudal medido, se traza una perpendicular hasta la intersección con la curva de potencia, con el ángulo correspondiente de los alabes. De esta intersección, se traza una horizontal hacia el eje de la derecha, allí se puede leer la Potencia consumida por el ventilador

6. Estos Datos son para una temperatura estándar y al nivel del mar, para obtener los datos a una altitud y temperatura dada hay que obtener el factor de corrección de la tabla.

7. El caudal es independiente de la altura, puesto que esta depende de las características geométricas.

Tabla 3.6. Factores de corrección por altitud y temperatura

Temp/msnm	Std	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C	
0	1.000	1.077	1.039	1.004	0.971	0.940	0.911	0.883	0.858	0.834	0.811	0.789	0.00´
100	0.990	1.063	1.026	0.991	0.958	0.928	0.899	0.872	0.847	0.823	0.800	0.779	328.08´
200	0.980	1.050	1.013	0.978	0.946	0.916	0.887	0.861	0.836	0.812	0.790	0.769	656.17´
300	0.972	1.036	1.000	0.966	0.934	0.904	0.876	0.850	0.825	0.802	0.780	0.759	984.25´
400	0.966	1.023	0.987	0.954	0.922	0.893	0.865	0.839	0.815	0.792	0.770	0.749	1312.24´
500	0.960	1.018	0.982	0.949	0.917	0.888	0.861	0.835	0.810	0.788	0.766	0.745	1640.42´
600	0.948	0.999	0.964	0.931	0.900	0.872	0.845	0.819	0.796	0.773	0.752	0.732	1968.50´
700	0.936	0.987	0.952	0.919	0.889	0.861	0.834	0.809	0.786	0.763	0.742	0.722	2296.59´
800	0.926	0.980	0.946	0.913	0.883	0.855	0.829	0.804	0.780	0.758	0.737	0.718	2624.67´

900	0.918	0.964	0.930	0.898	0.869	0.841	0.815	0.791	0.768	0.746	0.725	0.706	2952.76'
1000	0.910	0.952	0.919	0.887	0.858	0.831	0.805	0.781	0.758	0.737	0.717	0.697	3280.84'
1100	0.902	0.941	0.908	0.877	0.848	0.821	0.796	0.772	0.749	0.728	0.708	0.689	3008.92'
1200	0.894	0.931	0.898	0.867	0.839	0.812	0.787	0.763	0.741	0.720	0.700	0.682	3937.01'
1300	0.885	0.920	0.888	0.857	0.829	0.803	0.778	0.755	0.733	0.712	0.692	0.674	4265.09'
1400	0.875	0.910	0.878	0.848	0.820	0.794	0.769	0.746	0.725	0.704	0.685	0.666	4593.18'

Fuente: Airtec S.A.C.

3.9.1 Ecuación para calcular la pérdida en las manga flexible del ducto I

$$h_f = F * L$$

h_f = pérdida por fricción en la manga flexible (pulg. c.a.)

F= factor de fricción de la manga flexible proporcionada por el fabricante(airtec s.a.c.)

L= longitud de la manga en el tramo I

Recurriendo a la cartilla de manga flexible, determinamos el mismo de la siguiente manera:

Datos de cálculo:

$$Q = 12 \text{ m}^3/\text{seg} = 25426 \text{ CFM} = 25000 \text{ CFM}$$

$$V = 12 \text{ m/s} = 2362,2 \text{ Pies/min} = 2400 \text{ Pies / min}$$

$$L = 200\text{m} = 656.16'$$

Con estos datos, seleccionamos el factor de fricción lineal en la cartilla.

$$F = \frac{\eta' \text{ c.a.}}{100 * L}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$H_f = \frac{0.17' \text{ c.a.}}{100 * 656'}$$

$$H_f = 2.59' \text{ c.a.}$$

*Pérdida en el ducto I

3.9.2 Ecuación para calcular la pérdida en la manga flexible del ducto 2

$$Q = 50000 \text{ CFM}$$

$$V = 12 \text{ m/s} = 2362,2 \text{ Pies/min} = 2400 \text{ Pies / min}$$

$$L = 200 \text{ m} = 656.15'$$

Reemplazando en la ecuación:

$$H_f = \frac{0.14''c.a.}{100 * 656'}$$
$$H_f = 2.13''c.a.$$

3.9.3 Ecuación para calcular la pérdida en la manga flexible del ducto 3

$$Q = 69000 \text{ CFM}$$

$$V = 12 \text{ m/s} = 3937 \text{ Pies/min} = 4000 \text{ Pies / min}$$

$$L = 200 \text{ m} = 656.15'$$

Reemplazando en la ecuación:

$$H_f = \frac{0.12''c.a.}{100 * 656'}$$
$$H_f = 1.82''c.a.$$

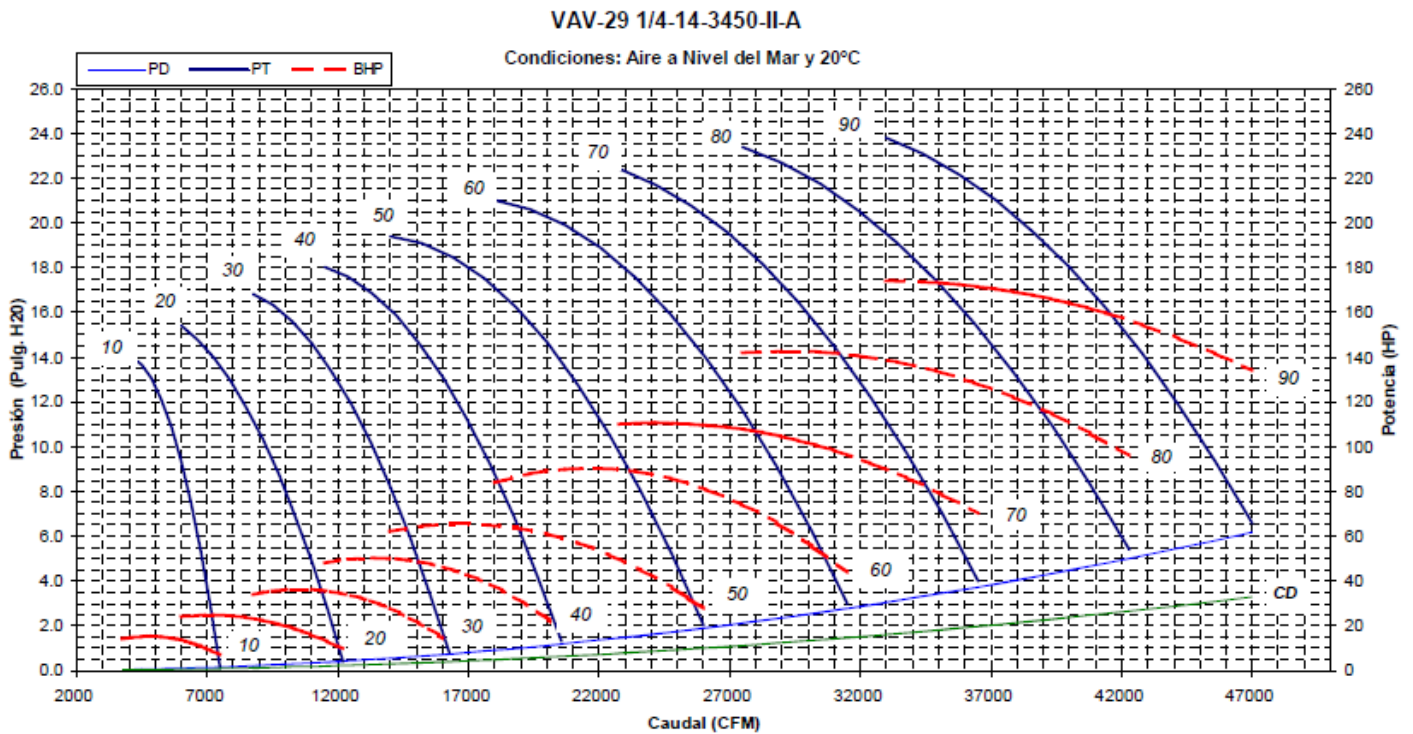
Recurriendo al gráfico para determinar el coeficiente de fricción lineal del ducto, nos dirigimos al catálogo de AIRTEC S.A.C.

De la tabla de AIRTEC S.A.C. intersecando Q con V, hallamos que el factor de fricción K dentro de la manga para el segundo tramo es 1.4''c.a.

TABLA DE AIRTEC VAV-29 1/4-14-3450-II-A

3.10 CATÁLOGO DE FABRICANTE AIRTEC S.A.C.

Diagrama de características del ventilador a seleccionar



3.11 PÉRDIDAS EN ACCESORIOS

3.11.1 Pérdidas en los accesorios tipo "T"

La pérdida de carga en los accesorios tipo T se produce en el ducto lateral y se contabiliza de la siguiente manera: Para determinar la pérdida en sí, depende del desplazamiento angular del ducto lateral. Cuanto mayor es el ángulo del ducto axial y el ducto lateral, las pérdidas son mayores, como se aprecia en la tabla 3.7

Tabla 3.7. Pérdidas de carga en las uniones tipo T

Ángulos Θ grados	Pérdida de carga en el conducto lateral por fricción de $P_{\text{dinámico}}$
10	0.06
15	0.09
20	0.12
25	0.15
30	0.18
35	0.21
40	0.25
45	0.28
50	0.32
60	0.44
90	1.00

Fuente: Carlos Alberto Echeverri L., Ventilación industrial

Para una amplitud angular de 90° (T) del ducto lateral o manga, es igual a la presión dinámica calculada

$$H_t = 1.0 h_{\text{dinamico}}$$

$$H_t = 1.0 * 11$$

$$H_t = 11'' \text{ c.a.}$$

Teniendo en cuenta que tenemos 11 accesorios de tipo T, ubicados a una distancia de 50 m, tenemos una pérdida total en de $11''$ c.a.

3.11.2 Pérdida en dámper

El criterio para determinar las pérdidas en el dámper, es la diferencia entre la pérdida mayor y la pérdida menor del ducto.

$$H_{\text{dámper}} = 2.59 - 1.82 = 0.77 \text{ c.a.}$$

Teniendo en cuenta que se tiene 2 dámpers ubicados a la entrada de cada tramo, la pérdida se multiplicará por 2.

$$H_{dt} = 1.54 \text{ c.a.}$$

3.11.3 Pérdida en la reducción

3.11.3.1 Reducción 1

Para hallar la pérdida en la reducción tenemos que hallar el ángulo que se forma entre el diámetro mayor y menor, se calculará mediante la siguiente expresión:

Hallando el ángulo entre $T1 = 1500 \text{ mm}$ y $T2 = 750 \text{ mm}$

$$\text{Tg } \alpha = 0.25/1 * 1$$

$$\alpha = 14 \text{ (inversa de tg)}$$

Entonces, mediante la siguiente fórmula hallamos la pérdida.

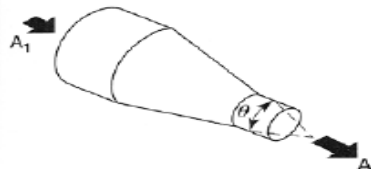
$$h_R = C \frac{Vp^2}{2g}$$

C = Coeficiente de fricción en el reductor

Vp = Velocidad en la sección

g = Gravedad

Figura 3.1. Reducción entre mangas



A ₁ /A	θ						
	10°	15°-40°	50°-60°	90°	120°	150°	180°
2	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
4	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
6	0.05	0.04	0.07	0.18	0.28	0.36	0.42
10	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43

Fuente: Cidelsa

$$A_1 = 15000 \text{ mm}$$

$$\frac{1500}{750} = 2$$

$$A_2 = 750 \text{ mm}$$

$$\text{Aprox } C = 0.05$$

$$h_R = C \frac{Vp^2}{2g} = 35.31 \text{ mm c.a.} = 1.39'' \text{ c.a. Pérdida en el reductor 1}$$

3.11.3.2 Reducción 2

Hallando el ángulo entre T2 = 750 mm y T3 = 500 mm

$$\text{Tg alfa} = 0.25/1 * 1$$

alfa = 14 (inversa de tg)

$$A_2 = 750 \text{ mm} \quad \frac{750}{500} = 1.5$$

$$A_3 = 500 \text{ mm} \quad \text{Aprox } C = 0.05$$

$$h_R = C \frac{Vp^2}{2g} = 35.31 \text{ mm c.a.} = 1.39'' \text{ c.a. Pérdida en el reductor 2}$$

3.12 PÉRDIDAS A LA ENTRADA Y SALIDA DEL VENTILADOR

Se considerara un porcentaje de pérdidas adicionales de esta presión, estas pérdidas serán calculadas a la entrada y salida del ventilador.

- Para las pérdidas a la entrada del ventilador por fricción, consideraremos:

$$5.5\% P_f = 0.055 (10'' \text{ c.a.}) = 0.55'' \text{ c.a.}$$

- Para las pérdidas a la salida del ventilador por fricción, consideraremos:

$$2.77\% P_f = 0.027 (10'' \text{ c.a.}) = 0.27'' \text{ c.a.}$$

El total hallado y sumado en ambas pérdidas, es decir, a la entrada y salida del ventilador es:

$$P_{fe} + P_{fs} = 0.82'' \text{ c.a.} = 234.14 \text{ Pa} = 0.23 \text{ Kp}$$

3.13 CARGA TOTAL DEL VENTILADOR

3.13.1 Presión dinámica (delta p dinámica)

Para calcular la velocidad promedio dentro de la manga con diámetro de 1.5m o 1500 mm, con

la ecuación de la continuidad, $Q = VA$, tenemos:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * d^2}$$

$$V = \frac{4 * 8.057}{\pi * 1.5m^2}$$

$$V = 4.56m / seg = 14.96pies / seg$$

Reemplazando la ecuación para hallar la caída de la presión dinámica dentro de la manga:

$$\Delta P_{dim} = \frac{1.3 \left(\frac{kg}{m^3} \right) x \left(14.96 \frac{m}{s} \right)^2}{2(9.81m/s)}$$

$$\text{- presión dinámica} = 0.99'' \text{ c.a.} = 1'' \text{ c.a.}$$

La densidad del aire en condiciones de polución severa en minas subterráneas o túneles varía de 1.3 a 1.4 (kg-m/m³), esta densidad puede aumentar si no hay condiciones adecuadas de mantenimiento y de estudios de impacto ambiental.

1.3 = Densidad de aire dentro del túnel

9.81 = Gravedad

12 = Velocidad dentro de la manga

$$H_{\text{total}} = H_{\text{estático}} + H_{\text{dinámico}}$$

$$H_{\text{total}} = 22.68'' \text{c.a.} + 1'' \text{c.a.}$$

$$H_{\text{total}} = 23.68'' \text{c.a.}$$

3.14 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para la selección del ventilador, se requieren 2 datos los cuales son el caudal y la presión total:

$$Q = 17072,385 \text{ CFM} = 17\ 100 \text{ CFM} = 8.075 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{\text{total}} = 23.68'' \text{c.a.}$$

AIRTEC SA: SERIE VAV-29 1/4-14-3450-II-A

Potencia del ventilador: 230 Hp

La potencia del ventilador se multiplica por el factor de corrección de temperatura y altura el cual es 1.02

$$230\text{hp} * 1.02 = 234\text{hp} = 230 \text{ hp}$$

Caudal: 2000 – 47000 cfm

Presión dinámica: 1''c.a.

Transmisión directa

Nivel de ruido 50 – 80 decibeles

3.15 INSTALACIÓN DEL VENTILADOR

Los impulsores son balanceados dinámicamente antes y después de instalarse en el ventilador.

Los ventiladores son probados a cargas máximas permitidas para verificar que toda la fabricación y ensamblaje cumpla con los límites de vibración estandarizado (3.5 mm), sin embargo, todas las unidades deben estar apoyadas adecuadamente para una óptima operación.

Se deben suministrar señalizaciones de acceso en el trabajo, inmediatamente adyacentes a la entrada y la salida del ventilador, para facilitar la inspección y el mantenimiento de las partes internas.

UNIDADES MONTADAS EN LAS PLACAS O PLATAFORMAS

Una cimentación en concreto correctamente diseñada y nivelada suministra los mejores medios para instalación de ventiladores montados en piso.

1. La base debe mantener la alineación entre el ventilador y el impulsor para absorber la vibración normal y resistir cargas laterales.
2. El peso de la placa o Plataforma debe ser de tres a cinco veces el peso del ventilador, incluyendo el motor y los silenciadores.

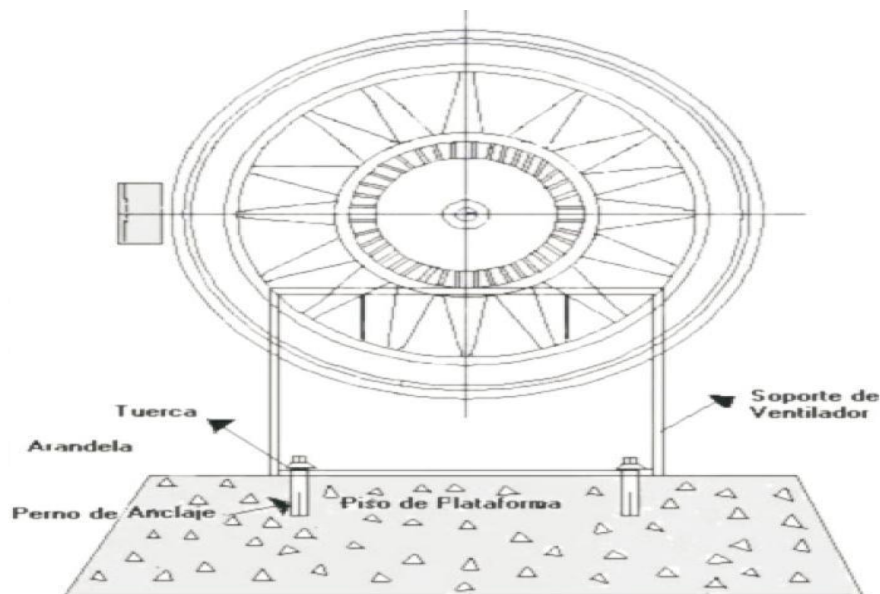
Sugerencia: Tener mínimo 3 veces el peso indicado.

3. La cimentación requiere sujetadores anclados firmemente tal como los pernos de anclaje.

4. Los pernos de anclaje deben ser del tamaño estándar

5. Mueva el ventilador con una pluma al lugar del montaje y bájelo sobre los pernos de anclaje.
6. Acuñe lo que sea necesario para nivelar el ventilador.
7. Sujete el ventilador en forma segura con los pernos de anclaje, ya sea de forma horizontal o Vertical.
8. Para la instalación, la Campana Aerodinámica debe quedar libre sin ninguna obstrucción ya que esta es la que se encarga de captar el flujo de aire.

Figura 3.2. Montaje de ventilador



Fuente: Airtec

Otra alternativa

Seleccionar 2 ventiladores con la finalidad de reducir la potencia, es decir instalar 2 ventiladores de 70 hp cada uno, para ambos ventiladores se necesitara un caudal $Q = 8500$ CFM

3.16 DATOS DE LA MANGA

Utilizaremos una manga de la marca CIDELSA que es una empresa peruana que produce, comercializa y exporta ductos de ventilación desde hace más de tres décadas. La excelente

calidad de los materiales así como la avanzada tecnología de producción que esta posee han dado como resultado un éxito acreditado en importantes proyectos.

3.16.1 Peso de la manga

Para hallar el peso real de la manga, se utilizó el software solidworks que brindó información real.

- Tramos I : 1 500 mm x 200 metro de longitud

$$1 \text{ metro lineal} - 15.97 \text{ kg}$$

$$200 \text{ metros} - 3194 \text{ kg} = 3.2 \text{ T}$$

$$\text{Área de la superficie} = 8.20 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen del sólido} = 0.01 \text{ m}^3$$

- Tramo II : 750 mm x 200 metros de longitud

$$1 \text{ metro lineal} - 7.98 \text{ kg}$$

$$200 \text{ metros} - 1597 \text{ kg} = 1.6 \text{ T}$$

$$\text{Área de la superficie} = 4.3 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen del sólido} = 0.04 \text{ m}^3$$

- Tramo III: 500 mm x 200 metros de longitud

1 metro lineal – 6.2 kg

200 metros – 1240 kg = 1.2 T

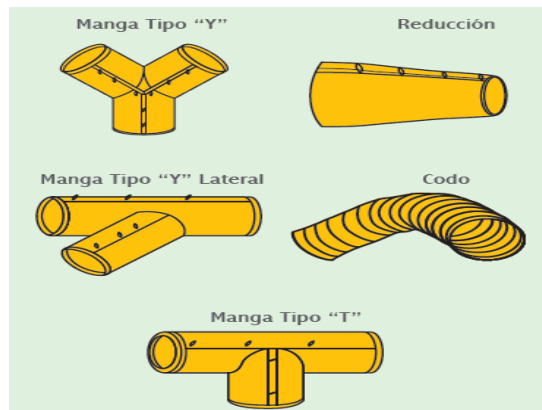
Área de la superficie = 2.8 m²

Volumen del sólido = 0.05 m³

3.16.2 Accesorios

Utilizaremos 2 reducciones para empalmar los 3 tramos, el tramo de 1500 mm y el tramo de 750 mm y el tramo de 750 mm con 500 mm

Figura 3.3. Modelos de acoples



Fuente: Cidelsa

3.17 SISTEMA DE ACOPLES

Utilizaremos un sistema que funciona por trabazón entre aros del mismo diámetro.

3.17.1 Sistema de suspensión

La suspensión con la que cuentan estos ductos se realiza a través de ganchos galvanizados colocada en una línea externa y superior de basta continua.

3.17.2 Soporte de los conductos horizontales

El sistema de soporte de un conducto tendrá las dimensiones de los elementos que le constituyen y estará espaciado de tal manera que sea capaz de soportar, sin ceder, el peso del conducto y de su aislamiento térmico así como su propio peso.

3.17.3 Sistema de soporte

El sistema de soporte de una red de conductos se compone de tres partes:

- El anclaje al elemento estructural de la manga.
- Los tirantes.
- La fijación del conducto al soporte.
- El anclaje al elemento estructural de la manga. El sistema de fijación variará según la naturaleza de la estructura de la manga, o elemento constructivo sobre el que se ancle, y los criterios de la dirección facultativa. En todo caso, el sistema de anclaje adoptado no deberá nunca debilitar la estructura del edificio y la relación entre la carga que grava sobre el elemento de anclaje y la carga que determina el arrancamiento del mismo.
- Los tirantes serán usualmente flejes de chapa de acero galvanizado o bien platinas o varillas de acero no tratado superficialmente. Estas últimas deberán ser galvanizadas cuando trabajen en ambientes corrosivos; en este caso, cuando se haya realizado el montaje en obra, se protegerán con pintura antioxidante aquellas partes del soporte que hayan perdido el galvanizado debido a su mecanización. Los tirantes se instalarán sensiblemente verticales para evitar que puedan transmitir esfuerzos horizontales a los conductos. El ángulo máximo permitido entre la vertical y el tirante es de 10°. No se utilizarán alambres como soportes definitivos o permanentes.
- La fijación del conducto a los tirantes. Pueden utilizarse tornillos rosca-chapa o remache. En este caso, la penetración en el conducto debe ser evitada en lo posible. Los conductos deberán

fijarse a los tirantes a través de sus elementos de refuerzo o se apoyarán en un perfil que se une a los tirantes mediante elementos roscados. En ningún caso se admitirá la unión del soporte por medio de tornillos o remaches a los conductos de estas clases.

Espaciamiento de los soportes horizontales. En la Tabla se dan las distancias máximas entre soporte contiguo y la sección de varillas o pletinas, en función del perímetro del conducto rectangular y de la sección de los tirantes.

Se recomienda emplazar los soportes cerca de las uniones transversales. Para los conductos circulares, en la Tabla 3.8 se indican las secciones necesarias de los flejes para una distancia máxima entre soporte 3,5 m. La sección del collarín será siempre igual a la del tirante.

3.17.4 Tabla para dimensiones y separación de soportes para conductos rectangulares

Teniendo en cuenta que se tienen 2 diámetros de ducto, el primer diámetro es 1500 mm; el segundo, 750 mm y el tercero es de 500 mm. Obtendremos por las dimensiones y separaciones que se ven en la tabla.

Tabla 3.8 . Dimensiones y separaciones

Máxima suma de lados o semiperímetro	Distancia entre parejas de soportes m							
	3.0		2.4		1.5		1.2	
M	pletinas mm	varillas mm	pletinas mm	varillas mm	pletinas mm	varillas mm	pletinas mm	varillas mm
1.8	25 x(8)	6	25 x(8)	6	25 x(8)	6	25 x(8)	6
2.4	25x(12)	8	25x(10)	6	25 x(8)	6	25 x(8)	6
3	25x(15)	10	25x(12)	6	25 x(8)	6	25 x(8)	6
4.2	40x(15)	12	25x(15)	10	25x(12)	8	25x(12)	8
4.8	---	12	40x(15)	12	25x(15)	8	25x(15)	8
>4.8	Se requiere un estudio de pesos							

Fuente: Ditar Chile

3.17.5 Tabla de dimensiones y soportes para conductos circulares

Teniendo en cuenta que se tienen 3 diámetros de ducto, el primer diámetro es 700 mm; el segundo, 500 mm y el tercero, 400 mm. Obtendremos por las dimensiones y separaciones que se ven en la tabla

Tabla 3.9. Dimensiones circulares

diámetro mm	pletinas mm
< 600	1 x 25 x (8)
601 a 900	1x25x(12)
901 a 1200	1 x25x(15)
1201 a 1500	2x25x(12)
1501 a 2000	2x25x(15)

Fuente: Ditar Chile

3.17.6 Tabla para máxima carga por cada platina y varilla

Tabla 3.10. Cargas por platinas

Pletina Mm	Tomillo	Carga N	Varilla Mm	Carga N
25 x(8)	2x 4MA	1150	6	1200
25x(10)	2x 5MA	1400	8	3000
25x(12)	2x 6MA	1850	10	3800
25x(15)	2x 8MA	3100	12	5500
40x(15)	2 x 10 MA	4800	15	8800
			20	13200

Fuente: Ditar Chile

Para hallar la máxima carga soportada por las varillas y pernos, utilizaremos los datos de la tabla; teniendo en cuenta que nos dan valores en Newtons (N)

- Carga máxima permisible de tornillos.

$$\frac{1850N}{9.81g} = 188kg$$

- Carga máxima permisible para varillas.

$$\frac{3850N}{9.81g} = 387.35kg$$

- Distancia entre varillas 2.4 m

$$\frac{200m}{2.4m} = 83$$

En cada tramo de 200 metros, habrán 83 soportes con varillas y debidamente empernados.

3.17.7 Resistencia de soportes

- Datos del primer tramo

$$L = 200 \text{ m}$$

$$D = 1500 \text{ mm}$$

$$W_m = 3194 \text{ kg}$$

$$\frac{3194kg}{83} = 38.48$$

- Datos del segundo tramo

$$L = 200 \text{ m}$$

$$D = 750 \text{ mm}$$

$$W_m = 1597 \text{ kg}$$

$$\frac{1597kg}{83} = 19.24$$

- Datos del tercer tramo

$$L = 200 \text{ m}$$

$$D = 500 \text{ mm}$$

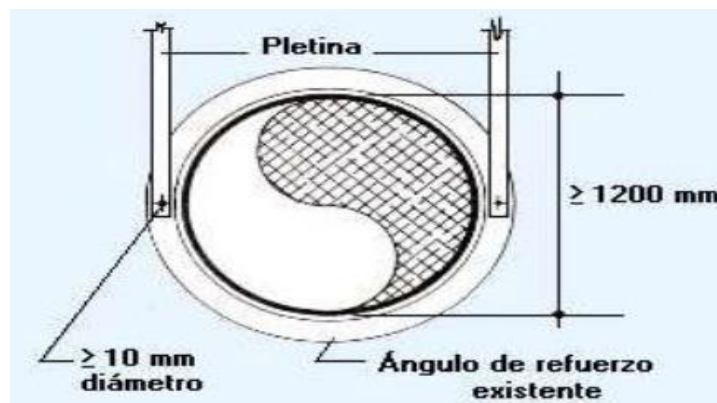
$$W_m = 1240 \text{ kg}$$

$$\frac{1240kg}{83} = 14.93$$

Teniendo en cuenta que la carga máxima de los tornillos es 188 kg y la de las varillas es 387.35 kg, vemos que no es superado por el factor máximo permisible.

3.17.8 Imágenes de anclajes

Figura 3.4 . Anclaje para ductos circulares



Fuente: Ditar Chile

3.17.9 Cálculo del torque y resistencia del perno por criterio de relación de par de torsión en la tensión del perno

Con una buena estimación de la carga por tracción; se puede obtener una aproximación de par de torsión y la resistencia en el perno.

Diámetro del perno = 3/4 recomendado por AIRTEC

Grado 8,2 = 1/4 '' a 1 ''

Resistencia de prueba = 120 K psi

Resistencia a la torsión = 150 Kpsi

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = \sigma A = 120 \text{ Kl} / \text{pulg}^2 * \Pi d^2 / 4$$

$$F = 53014 \text{ Lb}$$

$$F = 53,014 \text{ Kl}$$

- Carga de tracción del perno

$$T = KFd$$

$$K = 0.2$$

K = Factor de fricción del perno

$$T = 0.2(53.014)(0.75)$$

$$T = 7.95 \text{ Kl} / \text{pulg}$$

Esta tracción es suficiente para absorber las cargas y vibraciones del ventilador.

3.18 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL NECESARIO PARA DISMINUIR LA POLUCIÓN

Según los estándares de calidad del aire en ductos mineros para ventilación, se recomienda una polución permisible máxima de 50 partes por millón (ppm); este parámetro predeterminado está acorde a las recomendaciones de la ley 055-2016, y se expresará con la siguiente fórmula.

$$Q = \frac{S * L * Ca}{[(LPP - CF) * t]}$$

Trabajaremos en base a las partes por millón:

$$Ca = \frac{Q[(LPP - Cf) * t]}{S * L}$$

$$Ca = \frac{(8.057)(175 - 50)(240)}{9 * 900}$$

$$Ca = 30 \text{ ppm}$$

Este resultado está por debajo de la polución admisible, por lo tanto, el presente proyecto alcanza su objetivo en amenguar el contenido de polvo contaminado dentro del túnel.

3.18.1 Cantidad de aire para diluir la polución

El caudal Q de los contaminantes es bastante reducido a altitudes a nivel del mar, en consideración a que se le asigna un valor a $0.07 \text{ m}^3/\text{seg}$.

$$Q_d > \frac{Q_k (1 - LPP)}{(LPP - C_k)}$$

$$Q_d > \frac{0.07(1 - 0.01)}{(0.01 - 0.01)}$$

$$Q_d > 7.7 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Q_d = Caudal m^3/seg

Q_k = Influjos de contaminantes en m^3/seg

C_k = Concentración del contaminante en la entrada de aire a la mina

Teniendo en cuenta que el caudal es de $8.057 \text{ m}^3/\text{seg}$ y el caudal para diluir es $7.7 \text{ m}^3/\text{seg}$ se determina que la velocidad de arrastre será adecuada para diluir la polución dentro del túnel.

3.19 CRITERIOS Y GENERALIDADES

Se fijan los criterios necesarios para las pruebas de recepción de redes de conductos de chapa metálica, desde los puntos de vista de su resistencia estructural y de su estanquidad. Para ciertos detalles, se remite expresamente a norma UNE 100-104.88. Antes que una red de conductos se haga inaccesible por la instalación de aislamiento térmico o el cierre de obras de albañilería y de falsos techos, se realizan pruebas de resistencia estructural y de estanquidad para asegurar la perfecta ejecución de los conductos y sus accesorios y del montaje de los mismos.

Las pruebas se realizarán, preferiblemente, sobre la red total; cuando la red esté subdividida en clases o si, por razones de ejecución de obra, se necesita ocultar parte de la red antes de su ultimación, las pruebas podrán efectuarse subdividiéndola en tramos, de acuerdo a su clasificación.

COSTO DEL PROYECTO

Balanceo de ventilación

Caudal de aire	m ³ /min	cfm
Total de aire requerido	8.0579	17100
Ingreso de aire al túnel	8.9	18800
Salida de aire	8.7	18400
Cobertura de ventilación	100%	
Longitud	900 metros	

Indicadores de ventilación

Diseño	Caudal CFM	Costo energético por año USD por cfm
Proyectado	17100	8500

Costo del proyecto sin incluir IGV o pagos tributarios, tampoco se toma en cuenta el costo de transporte hacia la mina.

Ítems	Descripción	Costo USD
1	Equipos de ventilación y accesorios	20500
2	Manga de ventilación y accesorios	20000
3	Montaje y obras civiles	30000
Total	70500	

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se diseñó este sistema de manera que nos permita extraer el aire contaminado dentro del túnel de trabajo, teniendo en cuenta que el máximo permisible es 60 ppm, se logró reducir a 30 ppm, obteniendo casi un 60% de eficacia en la presente investigación.

SEGUNDA: El sistema de ventilación dentro del túnel se diseñó para conducir el aire contaminado desde los puntos de extracción hacia las bocas de salida del túnel.

TERCERA: El ventilador seleccionado cumple los requerimientos de caudal y presión para alimentar de aire al lugar de trabajo. La presión total entregada es de 14'' c.a. = 3487.15 Pa = 3.49 Kpa. La serie AIRTEC SA: SERIE T certificados para control de polvo y humo.

CUARTA: El material de los ductos es de dispositivo neumático fabricado con una membrana reforzada de PVC con uniones selladas por alta frecuencia según la norma ASTM A653, como lo especifica "The Sheet Metal and Air Conditioning Contractors" National Association (SMACNA). El espesor de los ductos es de calibre 22 con refuerzos intermedios.

QUINTA: El costo total del sistema es de \$ 70,500

SEXTA: Cuando el caudal disminuye a una determinada velocidad, el coeficiente K de la ductería aumenta.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Hacer mantenimiento preventivo en las fechas indicadas, ya que si no se hace un correcto mantenimiento el equipo puede sufrir paras y por ende puede perjudicar al personal trabajando dentro del túnel

SEGUNDA: Realizar un correcto ajuste de soportaría ya que el ventilador es una turbo máquina y tiende a realizar vibraciones y esto puede ocasionar desbalanceo en el eje y a su vez puede causar daño en los rodamientos.

TERCERA: Realizar un correcto ajuste de soportaría de la manga de ventilación, ya que el tendido de la manga es de 600 metros esto con la finalidad evitar desprendimientos de pernos, espárragos y volandas de sujeción.

CUARTA: Realizar monitoreo e inspecciones de rutina diariamente por parte del operador, esto con la finalidad de detectar alguna falla o peligro.

QUINTA: Cumplir con las tareas de limpieza, lubricación y ajuste cada vez que indique el plan de mantenimiento.

SEXTA: Mantener las zona de montaje del ventilador libre de escombros y repuestos que no son necesidad del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- https://www.academia.edu/7878886/Libro_de_ventilaci%C3%B3n
- <http://extractores.com.mx/ventiladores%20axiales.htm>
- http://www.gruberhermanos.com/productos_v_axiales.html
- http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm
- <http://www.schneider-electric.com.co/documents/press-release/soluciones-y-ahorro-de-energia-con-variadores-de-velocidad.pdf>
- <http://www.vdmconsultores.cl/assets/13.pdf>
- http://oa.upm.es/36496/1/PFC_Alberto_Campillos_Prieto.pdf
- http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=637
- http://www.sodeca.com/Content/img/es/InformacioTecnica_01.pdf
- http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=637
- <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/ventilacion-minera-7-recomendaciones-y-reglamento-de-seguridad/>
- <http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/seguridad/200812GuiaVentilacionMinas.pdf>
- http://www.ventdepot.net/mexico/fichastecnicas/Manual_de_Instalacion_y_Mantenimiento_de_Extractores_y_Axiales_Soler_and_Palau_VentDepot_MX.pdf
- https://www.google.com.pe/search?q=como+empalmar+un+ventilador+axial+a+una+manga+de+ventilacion&dcr=0&tbn=isch&imgil=ZGliPiA0n4W45M%253A%253BtR8V6Yrs533MZM%253Bhttps%25253A%25252F%25252Fes.slideshare.net%25252Ffhiramgomez%25252Ffallegro-espacios-confinados-y-ventilacion&source=iu&pf=m&fir=ZGliPiA0n4W45M%253A%252CtR8V6Yrs533MZM%252C_&usg=__Nqm6upjum2pY_bKXormcqcsmKCs%3D#imgrc=ZGliPiA0n4W45M:

- <https://es.scribd.com/presentation/223435189/Ventilacion-en-Mina-Subterranea-Ingenieria-de-MinasUNI2014-1>
- http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4166/Flores_Aroni_Marco_Fredy.pdf?sequence=1
- http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3944/1/guillen_cc.pdf

DIAGRAMA DE EJECUCION

Actividades	Diciembre			Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo			Junio			Julio			Agosto				
Requerimiento	X																												
Propuesta del proyecto		X																											
Justificación del proyecto			X																										
Aprobación del proyecto				X																									
Puesta en marcha del proyecto					X																								
Cotización y Requerimiento de equipos					X																								
Visita técnica de AIRTEC S.A.						X																							
Visita técnica de CIDELSA							X																						
Llegada de equipos y componentes								X	X																				
Montaje de proyecto									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Prueba de proyectos 1																							X	X					
Prueba de proyectos 2																								X	X	X			
Verificación de proyecto																									X	X			
Entrega de proyecto final																										X	X	X	X

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA	CONCLUSIONES
¿De qué manera se puede disminuir la polución de mineral dentro del túnel de planta chancadora?	Diseñar un sistema de ventilación para disminuir la polución de mineral.	Propuesta de un sistema de ventilación en un túnel de planta chancadora para disminuir la polución de mineral en el campamento de san Nicolás en la mina Shougang Hierro Perú, San Juan de Marcona – Ica 2016	Variable independiente: Propuesta de un sistema de ventilación	X1 Ámbito donde se realiza el proyecto X2 Actualización de datos técnicos relacionados al asunto X3 Presupuesto	La presente investigación es de tipo descriptivo ya que se realizará un diseño en el cual se van a plasmar los fundamentos teóricos y prácticos necesarios para la realización de la propuesta del proyecto.	Se diseñó este sistema de manera que nos permita extraer el aire contaminado del túnel de trabajo, Reduciendo la polución de 50 ppm a 30 ppm, obteniendo casi un 60% de eficiencia.
¿Cómo se llega a proponer un sistema de ventilación?	Llevar a cabo el análisis y diseño de un sistema de ventilación adecuado para un túnel donde se transporta mineral a través de fajas en planta chancadora	Teoría de los ventiladores.	Variable dependiente: Para disminuir la polución de mineral en el campamento de san Nicolás en la mina Shougang Hierro Perú, San Juan de Marcona – Ica 2016	Y1 Eficiencia Y2 Eficacia Y3 Productividad		El sistema de ventilación dentro del túnel se diseñó para conducir el aire contaminado desde los puntos de extracción, hacia las bocas de salida del túnel.
¿Cómo se puede mejorar las condiciones de trabajo?	Asegurar la ventilación adecuada en las zonas de trabajo.	Selección de ventiladores centrífugos para el caso.				El costo total del sistema es de \$ 70.500
¿De qué manera nos aseguramos que el rendimiento y eficiencia sean los adecuados?	Seleccionar un sistema de ventilación idóneo para ese túnel.	Estudio de impacto ambiental del túnel de planta chancadora en el campamento de san Nicolás en la mina Shougang Hierro Perú, San Juan de Marcona – Ica 2016.				El ventilador seleccionado cumple los requerimientos de caudal y presión para alimentar de aire al lugar de trabajo. La presión total entregada es de 14'' c.a. = 3487.15 Pa = 3.49 Kpa. La serie AIRTEC SA: SERIE T certificados para control de polvo y humo.
¿Cuál sería la propuesta para mantener los estándares de calidad?	Cumplir con la normatividad ambiental vigente.	Normas técnicas de impacto ambiental				

INDICE WEB

- https://www.academia.edu/7878886/Libro_de_ventilaci%C3%B3n
- <http://www.vdmconsultores.cl/assets/13.pdf>
- http://oa.upm.es/36496/1/PFC_Alberto_Campillos_Prieto.pdf
- http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=637
- http://www.sodeca.com/Content/img/es/InformacioTecnica_01.pdf
- http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=637
- <http://www.revistaseguridadadminera.com/operaciones-mineras/ventilacion-minera-7-recomendaciones-y-reglamento-de-seguridad/>
- <http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/seguridad/200812GuiaVentilacionMinas.pdf>
- http://www.ventdepot.net/mexico/fichastecnicas/Manual_de_Instalacion_y_Mantenimiento_de_Extractores_y_Axiales_Soler_and_Palau_VentDepot_MX.pdf
- https://www.google.com.pe/search?q=como+empalmar+un+ventilador+axial+a+una+manga+de+ventilacion&dcr=0&tbm=isch&imgil=ZGliPiA0n4W45M%253A%253BR8V6Yrs533MZM%253Bhttps%25253A%25252F%25252Fes.slideshare.net%25252Fhiramgomez%25252Fallegro-espacios-confinados-y-ventilacion&source=iu&pf=m&fir=ZGliPiA0n4W45M%253A%252CtR8V6Yrs533MZM%252C_&usg=__Nqm6upjum2pY_bKXormcqsmKCs%3D#imgrc=ZGliPiA0n4W45M:
- <https://es.scribd.com/presentation/223435189/Ventilacion-en-Mina-Subterranea-Ingenieria-de-MinasUNI2014-1>
- http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4166/Flores_Aroni_Marco_Fredy.pdf?sequence=1
- http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3944/1/guillen_cc.pdf
- <http://extractores.com.mx/ventiladores%20axiales.htm>
- http://www.gruberhermanos.com/productos_v_axiales.html
- http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm
- <http://www.schneider-electric.com.co/documents/press-release/soluciones-y-ahorro-de-energia-con-variadores-de-velocidad.pdf>