

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS APLICADAS
INGENIERÍA DE MINAS



TRABAJO FINAL

**“Estudio y optimización del sistema de ventilación del
complejo minero Farallón Negro”**

ALUMNA: Barros, Ana Soledad

M.U. N° 00920

DIRECTOR: Ing. Fuentes, Gerardo

CO- DIRECTOR: Ing. Álvarez Eduardo

DICIEMBRE 2020



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y a mis padres.

A Dios por su amor, bondad, protección y acompañamiento en cada paso que doy, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos difíciles.

A mis padres María Elena Olmos y Jesús Mario Barros por todo su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, por apoyarme y ser mis pilares fundamentales, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí.



AGRADECIMIENTOS

A mis padres Maria y Mario, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mí, y por enseñarme a superar las distintas dificultades. Tanto a ellos como a mis hermanos: Walter, Cesar, Edith, Brisa y Lautaro, y a mi sobrina Triana, les agradezco por el apoyo a lo largo de mi vida y por el amor, la dedicación y la paciencia, acompañándome en el avance y desarrollo de mi carrera, y por ser mis pilares fundamentales.

A mi gran familia, por brindarme su apoyo, ánimos y buenas energías. Algunos estando cerca y otros no tanto, pero siempre presentes. A mi tío Oscar que me acompaña desde el cielo y al que siempre recordaré con una sonrisa.

A la familia Barrionuevo, por creer en mí, apoyarme incondicionalmente y motivarme cuando lo necesitaba. Por los momentos compartidos, por hacerme sentir de la familia y por todo el amor que me brindan.

Al director de mi Trabajo Final, Ing. Gerardo Fuentes y al Co-Director, Ing. Eduardo Álvarez, por guiarme, brindarme sus conocimientos, dedicarme su tiempo y motivarme cuando fue necesario. Por el acompañamiento no solo en este trabajo, si no en mi carrera profesional, siempre dándome buenos y sabios consejos.

A la empresa Yacimientos Mineros Agua de Dionisio (Y.M.A.D.) por permitirme realizar este trabajo, por recibirme con excelente predisposición y ser una parte esencial de mi formación profesional. A todas las áreas que me brindaron apoyo, pero sobre todo a mi equipo de Servicios Técnicos.

A la Ing. Claudia Caletti, por sus consejos, su apoyo y aliento en gran parte de mi carrera y en la vida, sobre todo en mis momentos difíciles. Y a Samu, por ser mi motorcito, mi superhéroe y gran amigo.

A todos los profesores de la carrera que fueron parte de mi formación profesional. Por sus enseñanzas, por compartir sus experiencias y brindarme acompañamiento en esta etapa de formación.

A mis amigos y compañeros de estudio José y Lore, por estar a mi lado durante toda la carrera, por su amistad incondicional, por apoyarme, motivarme y darme siempre fuerzas, sin ustedes no hubiera sido igual.

A todos mis compañeros y amigos de la facultad que formaron parte de esta etapa de mi vida, compartiendo horas de estudio y momentos inolvidables. Y la Agrupación de Estudiantes de Ingeniería de Minas (A.E.I.M.), por el acompañamiento a lo largo de la carrera.

A mis amigas/os de la vida por acompañarme también en esta etapa, apoyándome y motivándome siempre a cumplir mis sueños.

¡MUCHAS GRACIAS!



INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
CAPITULO 1	2
INTRODUCCIÓN	2
1.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
1.2. ALCANCES Y LIMITACIONES	3
1.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	4
1.4. GENERALIDADES.....	5
1.4.1. Ubicación geográfica del yacimiento	5
1.4.2. Geología	6
1.5. ASPECTOS OPERATIVOS DE LA MINA.....	9
1.5.1. Método de Explotación.....	9
1.5.2. Capacidad de producción.....	12
1.5.3. Diseño de la mina	12
1.5.4. Tratamiento del Mineral.....	13
1.5.5. Cianuración por Agitación, para mineral de alta ley.....	13
1.5.6. Cianuración por Lixiviación en Pilas, para mineral de baja ley.	14
CAPITULO 2	15
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	15
2. Ventilación de mina	15
2.1. Definición	15
2.2. Objetivos de la ventilación de mina	15
2.3. Propiedades Físicas del Aire.....	16
2.3.1. Parámetros básicos del aire	16
2.3.2. Leyes Básicas para el Aire.....	18
2.3.3. Humedad del Aire	19
2.4. Atmósfera de Mina	21
2.4.1. Composición del aire de Minas	22
2.5. Contaminantes que afectan el medio ambiente subterráneo.....	22
2.5.1. El polvo	24
2.5.1.1. Fuentes de polvo	24
2.5.1.2. El peligro del polvo.....	25
2.5.1.3. Tamaño de partículas	25



“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

2.5.1.4.	Acción del polvo sobre la salud	26
2.5.1.5.	La Sedimentación	29
2.5.1.6.	Legislación	30
2.5.1.7.	Acciones de mitigación contra el polvo	31
2.5.2.	El calor	32
2.5.2.1.	Fuentes de Calor en una Mina Subterránea	32
2.5.2.2.	Temperatura del Aire	35
2.5.2.3.	Balance de Calor Corporal	35
2.5.2.4.	Estrés Térmico por Calor	36
2.5.2.5.	Aclimatación	36
2.5.2.6.	Legislación	37
2.5.3.	Los gases	38
2.5.3.1.	Clasificación de los gases en mina	39
2.5.3.2.	Características de los gases en mina	42
2.5.3.3.	Legislación	45
2.5.4.	Motores Diésel	49
CAPITULO 3	.....	51
SISTEMAS DE VENTILACIÓN	.....	51
3.1. Métodos de Ventilación	.....	51
3.1.1. Ventilación Natural	.....	51
3.1.2. Ventilación Auxiliar ¹⁵	.....	53
3.2. Sistemas de Ventilación Generales	.....	55
3.2.1. Sistema de Ventilación Central	.....	55
3.2.2. Sistema de Ventilación Diagonal	.....	56
3.3. Circuitos de Ventilación Primaria	.....	57
3.3.1. Localización de los Ventiladores Principales	.....	58
3.4. Fundamentos del Análisis de los Circuitos de Ventilación	.....	58
3.4.1. Resolución de Circuitos de ventilación	.....	59
3.5. La ecuación de Atkinson y la Ley del Cuadrado	.....	64
3.5.1. Flujo Laminar y Turbulento	.....	64
3.5.2. Desarrollo de La ecuación de Atkinson y la Ley del Cuadrado	.....	65
3.5.3. Determinación del Factor de Fricción	.....	67
3.5.4. Tipos de caídas de presión	.....	70
3.5.5. Resistencia a la circulación del aire en la labor	.....	74
3.6. Metodología utilizada en la medición del Caudal y velocidad del Aire.	.....	76
3.6.1. Velocidad del aire en Labores Subterráneas	.....	77



3.7.	Requerimiento de Aire para una Mina Subterránea.....	78
3.7.1.	Calculo de caudales requeridos	78
3.7.1.1.	Caudal Requerido para el Personal	79
3.7.1.2.	Caudal requerido por desprendimiento de gases de voladura.....	80
3.7.1.3.	Caudal requerido por equipo Diésel	81
3.7.1.4.	Caudal requerido por otras necesidades.....	82
3.7.1.5.	<i>Factor de seguridad</i>	83
3.8.	Límites de Velocidad del Aire	83
3.9.	Ventiladores	84
3.9.1.	Clasificación de los ventiladores	85
3.9.2.	Curva característica de un ventilador y punto de operación	88
3.9.3.	Acoplamiento de ventiladores	89
3.9.4.	Fenómeno de Bombeo.....	91
3.9.5.	Trabajo en conjunto del ventilador y del tiro natural	92
3.9.6.	Leyes del ventilador	93
3.10.	Software VentSim Visual Avanzado ⁴	94
CAPITULO 4		96
ESTUDIO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL COMPLEJO MINERO FARALLÓN NEGRO.....		96
4.1.	Sectores en explotación.....	96
4.2.	Toma de mediciones.....	97
4.3.	Metodología de trabajo.....	98
4.4.	Equipos de medición.....	102
4.5.	Cálculo de caudal para estaciones de medición.....	102
4.6.	Principales estaciones de medición en superficie.....	103
4.7.	Balance de ingresos y egresos de flujo de aire	106
4.8.	Cálculos de requerimiento de aire.....	106
4.9.	Ventiladores Principales.....	116
CAPITULO 5		117
ESTUDIO Y ANALISIS DE SECTORES PUNTUALES DE LA MINA.....		117
5.1.	Estaciones de medición en interior de mina	117
5.2.	Sectores de Veta Encuentro	118
5.2.1.	Rampa Zigzag.....	118
5.2.2.	Recirculación de Aire por chimenea N°33	119
5.2.3.	Nivel 2552.....	121
5.2.4.	Nivel 2515 Sudeste.....	122



5.2.5. Labores de Veta Encuentro Inferior.....	126
5.3. Veta Esperanza Sudeste.....	129
5.3.1. Nivel 2451 SE	129
5.4. Problemas generales	132
CAPITULO 6	133
ANALISIS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA LA PROFUNDIZACIÓN DE VETA ENCUENTRO	133
CAPITULO 7	140
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	140
7.1. Conclusiones y Recomendaciones del capítulo 4	140
7.1.1. Balance de ingresos y egresos de flujo de aire	140
7.1.2. Cobertura de Aire para la Mina	141
7.2. Conclusiones y Recomendaciones del capítulo 5	141
7.2.1. Sectores Veta Encuentro	141
7.2.1.1. Rampa Zigzag.....	141
7.2.1.2. Recirculación de Aire por chimenea N°33	142
7.2.1.3. Nivel 2552.....	143
7.2.1.4. Nivel 2515 Sudeste.....	143
7.2.1.5. Labores de Veta Encuentro Inferior.....	145
7.2.2. Veta Esperanza Sudeste.....	148
7.2.2.1. Nivel 2451 SE.....	148
7.2.3. Recomendaciones generales (Capitulo 6).....	149
BIBLIOGRAFIA	153
CAPITULO 8	154
ANEXO I	154
Planos.....	154
ANEXO II	155
Planillas.....	155
ANEXO III	155
Equipos.....	155
ANEXO IV.....	155
Software Ventsim	155
ANEXO V	155
Fichas Técnicas de Explosivos	155



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición del aire atmosférico	22
Tabla 2: Contenido de polvo y estado del aire	26
Tabla 3: Concentraciones permisibles de polvo	31
Tabla 4: Valores TGBH en °C	37
Tabla 5: Límites Máximos Permisibles (C.M.P) según ley 19.587/79-Dcto.351/79	40
Tabla 6: Tasa de consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono	42
Tabla 7: Coeficientes de fricción K para labores mineras.	68
Tabla 8: Densidades del Aire a diferentes elevaciones.	69
Tabla 9: Longitudes equivalentes en labores mineras y ductos.....	70
Tabla 10: Coeficientes de fricción para ductos de ventilación.....	70
Tabla 11: Coeficientes de fricción para ductos de ventilación.....	70
Tabla 12: Coeficiente de fricción según el material del tubo	71
Tabla 13: Coeficiente de fricción según el tipo de galería.	71
Tabla 14: Valores de ξ para diferentes tipos de Resistencia Local	73
Tabla 15: Longitudes equivalentes según los tipos de accidentes.....	74
Tabla 16: Concentraciones Máximas Permisibles	82
Tabla 17: Velocidades Máximas Recomendaciones del Aire.....	84
Tabla 18: Referencias de aforos en rampas Tabla 19: Referencias de aforos en rampa	103
Tabla 20: Principales Estaciones de Medición en Superficie.....	105
Tabla 21: Balance de Flujo de Aire del Circuito Integral de Ventilación	106
Tabla 22: Requerimiento de Aire para el Personal	108
Tabla 23: Requerimiento de Aire para Equipo Diésel	110
Tabla 24: Horarios de voladura	111
Tabla 25: Pesos por unidad.....	111
Tabla 26: Consumo de Explosivos en Desarrollos en Veta	112
Tabla 27: Consumo de Explosivos en Cámara.....	112
Tabla 28: Comparación de caudales requeridos	114
Tabla 29: Caudal de aire total requerido.....	114
Tabla 30: Aforos de medición – Veta Encuentro.....	117
Tabla 31: Aforos de medición – Veta Encuentro.....	118
Tabla 32: Caudales de aire Rampa Zigzag y N2600.	119
Tabla 33: Caudal de rampa 3 y niveles inferiores.....	121
Tabla 34: Caudal requerido por personal N2515	124
Tabla 35: Caudal requerido por equipos diésel N2515	124
Tabla 36: Consumo de explosivo N2515	124
Tabla 37: Caudal requerido por consumo de explosivo N2515.....	125
Tabla 38: Medición de velocidades y temperatura.....	125
Tabla 39: Caudal entregado por el ventilador al N2515.....	125
Tabla 40: Caudal requerido por equipos diésel N2451 SE	130
Tabla 41: Consumo de explosivo N2451 SE.	131
Tabla 42: Caudal requerido por consumo de explosivo N2451 SE	131
Tabla 43: Medición de velocidades y temperatura.....	131
Tabla 44: Caudal entregado por el ventilador al N2451.....	131
Tabla 45: Caudal requerido por personal – Escenario 1	135
Tabla 46: Caudal requerido por equipos diésel – Escenario 1	135
Tabla 47: Consumo de explosivo en una cámara – Escenario 1.	135
Tabla 48: Caudal requerido por consumo de explosivo - Escenario 1	136



Tabla 49: Caudal requerido por personal – Escenario 2.....	136
Tabla 50: Caudal requerido por equipos diésel – Escenario 2.....	136
Tabla 51: Consumo de explosivo en una cámara – Escenario 2	137
Tabla 52: Caudal requerido por consumo de explosivo - Escenario 2	137
Tabla 53: Caudal requerido por personal – Escenario 3.....	137
Tabla 54: Caudal requerido por equipos diésel – Escenario 3.....	138
Tabla 55: Consumo de explosivo en una cámara – Escenario 3	138
Tabla 56: Consumo de explosivo, frente en desarrollo – Escenario 3	138
Tabla 57: Caudal requerido por consumo de explosivo - Escenario 3	139
Tabla 58: Caudal requerido en distintos escenarios	139
Tabla 59: Caudal requerido total	139
Tabla 60: Caudal requerido total en distintos escenarios	151



INDICE DE IMAGENES

Imagen 1: Basales sobre mineral y perforación de chimenea.....	10
Imagen 2: Perforación de filas de producción.....	10
Imagen 3: Apertura de cámara.....	11
Imagen 4: Explotación de cámara.....	11
Imagen 5: Relleno de cámara.....	12
Imagen 6: Simulación con Software Ventsim Visual.....	95
Imagen 7: Ingreso de Rampa Principal	
Imagen 8: Ingreso Rampa 3.....	97
Imagen 9: Chimenea N°33 - Ventilador extractor Cirigliano 54K.....	97
Imagen 10: Aforos de medición en interior de Mina.....	98
Imagen 11: Termo-Anemómetro con sonda de hilo caliente.....	102
Imagen 12: Distanciómetro Leica Disto D510	
Imagen 13: Detector de gas Monóxido MSA – Medidor de oxígeno MSA.....	102
Imagen 14; Imagen 15; Imagen 16: Fugas Ch N°33 RB – Veta Encuentro.....	104
Imagen 17; Imagen 18: Ventilador instalado en Ch N°23.	104
Imagen 19: Ventilador inyector N2552.....	121
Imagen 20: Tramo de manga corrugada N2515.....	123
Imagen 21: Manga deteriorada;	
Imagen 22: Quiebre de manga;.....	132
Imagen 23: Quiebre de manga	
Imagen 24: Cerrameinto deteriorado.....	132
Imagen 25: Cerramiento deteriorado.....	132



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica de la mina Farallón Negro	5
Figura 2: Mapa de ruta de acceso a Farallón Negro, desde San Fernando del Valle de Catamarca	6
Figura 3: Curva de Johannesburgo	28
Figura 4: Fuentes de Calor en una Mina Subterránea	34
Figura 5: Efecto del Oxido de Carbono sobre las personas.....	44
Figura 6: Ventilación natural.....	51
Figura 7: Esquema de labores de la mina	52
Figura 8: Sistema aspirante.....	53
Figura 9: Sistema impelente.....	54
Figura 10: Sistema combinado.....	54
Figura 11: Uso de aire comprimido para ventilación.....	55
Figura 12: Ejemplo de un sistema de ventilación central	55
Figura 13: Ejemplo de un sistema de ventilación diagonal.	56
Figura 14: Circuito en serie	60
Figura 15: Circuito en paralelo	61
Figura 16: Ejemplo de distribución de corriente de aire	62
Figura 17: Curvas de Resistencia de los Conductos de Ventilación	75
Figura 18: Método de sección completa	76
Figura 19: Método polar	77
Figura 20: Ventilador Centrífugo.....	86
Figura 21: Sentido del flujo de aire	86
Figura 22: Ventilador Axial	87
Figura 23: Punto de Corte de la Curva del Ventilador con la Resistencia del Circuito	88
Figura 24: Curva Característica del Ventilador Axial.....	89
Figura 25: Curva de Dos Ventiladores en Serie.....	90
Figura 26: Curva de Dos Ventiladores en Paralelo.....	91
Figura 27: Zona de Trabajo del Ventilador Respecto a la Curva de Resistencia	92
Figura 28: Curva del ventilador influenciado por la ventilación natural.....	92
Figura 29: Planta General de Veta Esperanza SE y Veta encuentro (Plano en Anexo I)	96
Figura 30: Esquema de medición para secciones mayores a 9m ²	99
Figura 31: Esquema de medición para secciones menores a 9m ²	99
Figura 32: Vista del corte transversal realizado al sólido	100
Figura 33: Corte transversal de la labor.....	101
Figura 34: Balance de Flujo de Aire del Circuito Integral de Ventilación	106
Figura 35: Requerimiento Global de Caudal de Aire.....	114
Figura 36: Perfil longitudinal Rampa Zigzag - Caudales	118
Figura 37: Simulación de flujos Rampa Zigzag.....	119
Figura 38: Dirección de flujos en inmediaciones de la Ch N°33.....	120
Figura 39: Simulación de flujos inmediaciones de Chimenea N°33	120
Figura 40: Distribución de caudal que ingresa por Rampa 3	121
Figura 41: Ubicación del ventilador nivel 2552.	122
Figura 42: Vista en plana N2515 SE.	123
Figura 43: Proyecto niveles inferiores de Veta Encuentro	126
Figura 44: Proyecto chimenea Raise Borer NO – Veta Encuentro.....	127
Figura 45: Dirección de flujos de aire	127
Figura 46: Ingreso de aire por la chimenea N°26.....	128



Figura 47: Caudales	128
Figura 48: Posibles cerramientos	128
Figura 49: Niveles del sector sudeste de Veta Esperanza.....	129
Figura 50: Vista en planta N2451	130
Figura 51: Sistema general de ventilación centralizado.....	133
Figura 52: Sistema general de ventilación diagonal.....	134
Figura 53: Modelo de ventilación en VentSim – Veta Encuentro.	134
Figura 54: Simulación de flujos con un cerramiento en chimenea N°22.	142
Figura 55: Simulación de flujos con un cerramiento en chimenea N°33.	142
Figura 56: Ubicación recomendada del ventilador nivel 2552.....	143
Figura 57: Conexión de N2515 con Chimenea N°18	144
Figura 58: Posición sugerida del ventilador inyector.....	145
Figura 59: Vista en planta de la ubicación recomendada del ventilador.....	146
Figura 60: Accesorios de ventilación, conexiones tipo “Y” y “T”	147
Figura 61: Punto de operación del ventilador Atlas Copco AVH71 Bietápico.....	147
Figura 62: Sistema de ventilación mixto N2451	148
Figura 63: Mangas de reparación – Catálogo de Epiroc.....	150
Figura 64: Modelo de ventilación en Software Ventsim – Veta Encuentro	151
Figura 65: Sistema de ventilación mixto Veta Encuentro Inferior.....	152



RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló en la empresa minera Yacimientos Mineros Agua de Dionisio (YMAD). Ubicada en el distrito Hualfín, Departamento Belén, Provincia de Catamarca.

Actualmente hay dos zonas en la etapa de explotación: Veta Encuentro y en Alto de la Blenda: Veta Esperanza Sudeste. El circuito de ventilación de cada una de estos sectores forma el circuito integral de la mina. Otro proyecto importante a desarrollar es la profundización de Veta Encuentro.

En primer lugar, se conoció el sector de estudio, por planos y en el campo, y se planificó la ubicación de estaciones de medición en las labores de acceso y salida. Seguido a esto se realizaron las mediciones correspondientes, que permitieron hacer un balance global de flujos de aire, tanto de ingresos como egresos.

Por otro lado, con el relevamiento de los datos de personal, equipos y cantidad y tipo de explosivos que utiliza la empresa, se calculó el caudal global requerido. Y se comparó con el caudal que ingresa.

Se identificaron las labores operativas en interior de mina, en donde se observaron problemas puntuales en sectores y/o niveles que requerían de un estudio con mayor detalle. Se ubicaron aforos de medición en interior de mina para la evaluación y monitoreo de estos sectores, seguido de la medición in situ de la calidad y velocidad de aire.

También se realizó un estudio y análisis del sistema de ventilación para la profundización de Veta Encuentro, planteando tres posibles escenarios de caudales requeridos, para comparar con el caudal disponible.

Los flujos del Circuito Integral de Ventilación de la mina, se analizaron mediante el uso del Software Ventsim Visual. Para ello se cargaron las labores mineras actuales, con los valores reales tomados en las distintas mediciones, para realizar una simulación lo más cercana posible a la realidad de la mina. Esto nos permitió constatar algunos problemas de recirculación, o mala distribución de los flujos de aire, como así también simular los cambios a realizar para optimizar el circuito de ventilación.



CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

En toda explotación minera se busca cumplir con ciertos requisitos para que el negocio sea rentable, uno de ellos es el costo mínimo por tonelada extraída, este es factible si se consigue una buena productividad en la operación, con gastos mínimos y optimizando recursos. Por otro lado, se debe trabajar en la extracción total de los minerales con mínima dilución, y evitando el aumento del costo de producción y pérdidas de las riquezas naturales.

Otro aspecto de suma importancia es que la explotación sea segura, esto incluye cumplir con todos los protocolos y políticas de seguridad de la empresa, y brindar un ambiente seguro de trabajo, para que se cumpla esto últimos se debe garantizar buenas condiciones geomecánicas (voladuras controladas y sostenimiento bien dimensionado) y condiciones termoambientales aceptables, libre de contaminantes sólidos y gaseosos.

En la explotación de minas por métodos subterráneos, se llevan a cabo operaciones que modifican el aire atmosférico, sufriendo una serie de alteraciones químicas y físicas que tienden a disminuir el contenido de oxígeno y a enriquecerlo con anhídrido carbónico, nitrógeno y otros gases nocivos, tóxicos y explosivos. Aumenta la pulverulencia del aire, varía la temperatura, humedad y peso específico.

La finalidad de la ventilación de mina radica en mantener el aire de las labores subterráneas mediante un adecuado sistema de ventilación, en condiciones similares al aire atmosférico y por lo tanto seguras, mediante el aporte de aire fresco en cantidad y calidad suficiente para diluir contaminantes a concentraciones seguras, en todas las labores que sean necesarias para el trabajo o transporte del personal y equipos.

Si las operaciones mineras son realizadas sin una adecuada ventilación, ponen en riesgo la vida y la salud de los operarios, llegando a producir en algunas ocasiones enfermedades laborales por trabajar en ambientes nocivos. Además conlleva a la disminución de la producción por la interrupción del ciclo de trabajo, (no poder ingresar a labores por estar poco ventiladas, aumento de tiempo de ventilación, tener que parar constantemente las operaciones por no tener condiciones termoambientales adecuadas), esto se traduce en un incumplimiento de los objetivos de producción.



1.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar, evaluar y recomendar posibles mejoras al sistema de ventilación en conjunto con los distintos avances de desarrollo y producción en el complejo minero Farallón Negro.

1.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Observar y conocer el sistema de ventilación actual existente en el complejo minero Farallón Negro, a los fines de: identificar las zonas críticas a optimizar, las labores que actualmente no están en producción y los ventiladores instalados (ubicación, características, operatividad, etc.), con sus respectivos ductos de ventilación.
- Crear e implementar planillas para volcar los datos relevados en mina (dirección y magnitud de los flujos de aire, velocidades, temperaturas, etc.).
- Determinar los caudales disponibles y requeridos para los distintos sectores de la mina, a partir de: cantidad de personal, cantidad y tipos de explosivos y equipos diésel utilizados.
- Visualización de los flujos de aire a partir de una simulación del sistema de ventilación mediante el Software VentSim.

1.2. ALCANCES Y LIMITACIONES

Actualmente YMAD lleva a cabo la explotación de dos sectores principales: Veta Encuentro y Veta Esperanza Sudeste. Se realizará el relevamiento de datos, posteriormente un balance global de ingresos y egresos de aire, estudio detallado de ventilación en zonas puntuales que ameriten y se analizará el circuito de ventilación para la profundización de Veta Encuentro. Una vez realizado el estudio, se brindarán propuestas de mejoras para ambas zonas.

Se realizarán las mediciones con equipos que posee la empresa (Termo-anemómetro, distanciómetro y monitores de gases) y en turnos diurnos.

Se considera el turno con mayor número de operarios, como así también personal de otras áreas que ingresan a mina.

En cuanto a los equipos diésel, se utilizarán los datos de catálogos sobre la potencia instalada de los motores.

Los ventiladores mencionados tanto en los niveles de producción, como en la simulación del circuito de ventilación son equipos con los que cuenta la empresa.

Se utilizará el Software VentSim para realizar el modelo primario o base de la mina, importando la topografía de la mina mediante sólidos en algunos casos y ejes de las labores en otros.



Se representarán los flujos no tan sólo en el modelo generado por el software VentSim, sino también mediante planos de perfiles longitudinales de los dos sectores en explotación.

1.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El método para desarrollar el trabajo contempla una serie de etapas que describen los pasos más importantes del proceso:

1) *Análisis de la información:*

- Sistema de ventilación actual existente.
- Identificación de zonas críticas con problemas de ventilación.
- Relevamiento de labores que actualmente no están en producción.
- Recorrido de labores en superficie de ingreso y egreso de aire.
- Relevamiento de ventiladores con los que cuenta la empresa, ya sea los instalados o no.

2) *Recolección de datos:*

- Creación e implementación de una planilla de datos, para llevar registros de las distintas mediciones en el campo.
- Determinar las estaciones de medición para implementar un sistema de monitoreo y control de la ventilación.
- Toma de mediciones en superficie de ingresos y egresos de aire.
- Relevamiento de datos en interior de mina: velocidad de aire, sección y medición de gases.
- Observación de la dirección de los flujos de aire limpio y viciado.
- Observación de problemas generales.
- Recolección de levantamientos topográficos de los sectores de estudio.
- Relevamiento de personal que ingresa a interior de mina, equipos diésel operativos y cantidad y tipos de explosivos utilizados.

3) *Desarrollo de cálculos y simulación:*

- Cálculo de caudal que ingresa y egresa de aire, con posterior balance global del sistema de ventilación.
- Determinación de caudales disponibles y requeridos para los distintos sectores de la mina.
- Representación en perfiles longitudinales de flujos de aire fresco y viciado
- Carga de datos topográficos y de caudales en el software VentSim.
- Visualización de los flujos de aire a partir de una simulación del sistema de ventilación.

4) *Análisis de resultados:*

- Brindar recomendaciones para contribuir a la mejora del sistema de ventilación de la mina.
- Conclusiones.



1.4. GENERALIDADES

1.4.1. Ubicación geográfica del yacimiento

El distrito mineralizado Farallón Negro se localiza en la concesión minera de Yacimientos Mineros Aguas de Dionisio (YMAD), que tiene una superficie de 334 km², ubicado en el distrito Hualfín, Departamento Belén, Provincia de Catamarca, República Argentina, a una altura promedio de 2.600 m.s.n.m. Sus límites en coordenadas geográficas medias son: 27° 15 Y 27° 20 de latitud sur y 66° 35 y 66° 40 de longitud Oeste.



Figura 1: Ubicación geográfica de la mina Farallón Negro

Se puede acceder desde el sur, por San Fernando del Valle de Catamarca, se recorren unos 400km, primeramente, por RN N°38 hasta empalmar con RN N°60 (en el límite entre las provincias de Catamarca y La Rioja). Se circula hasta conectar con RN N°40, hasta la



localidad de Los Nacimientos, donde se continúa por el tramo de RP N°35 hasta Mina Farallón Negro.



Figura 2: Mapa de ruta de acceso a Farallón Negro, desde San Fernando del Valle de Catamarca

1.4.2. Geología

I Geología Regional

El área se encuentra dentro de la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas, con alturas que oscilan entre los 2.400 a 2.900 m.s.n.m.

El depósito está emplazado en el Complejo Volcánico Farallón Negro, de edad Mioceno-Plioceno (8.5 m.a).

El Complejo Volcánico Farallón Negro está formado por una serie de rocas extrusivas de naturaleza andesíticas - dacítica (coladas de lava, brechas, aglomerados, etc.). Es interpretado como un extenso estrato volcán de aproximadamente 16 Km. de diámetro y



6,000m de altura. Un intrusivo de composición diorítico-monzonítico, que en la zona central podría coincidir con el centro eruptivo (Monzonita de Alto de La Blenda).

Las unidades geológicas que están comprendidas dentro del área de reserva de YMAD, pertenecen en su casi totalidad al Complejo Volcánico de Farallón Negro, de edad Terciaria. Las rocas más antiguas afloran al SE y al E, son filitas y pizarras (Sierra de la Ovejería), y gneises, esquistos inyectados y granitos porfiroides (Sierra Bola de atajo), que pertenecen al basamento cristalino de las sierras pampeanas de edad precámbrica.

Sobre el denudado basamento cristalino se depositaron las areniscas rojas del Calchaquense, cuya edad se atribuye al Terciario medio superior. Aflora en el ángulo NE, en la zona de las escaleras. Aquí está plegado en amplios anticlinales.

En discordancia angular sobre el Calchaquense e instruyéndolo, se encuentran las brechas y cuerpos ígneos del grupo volcánico farallón negro.

Las rocas del grupo volcánico farallón negro instruyen a los sedimentos del calchaquense y son cubiertos por las areniscas y tobas del Araucanense. Se asientan sobre las formaciones mencionadas depósitos conglomerádicos aterrazados y fluviales de edad Cuaternaria.

Basamento Cristalino: Aflora en la parte sur de la reserva de YMAD, constituyendo el bloque de la Sierra de la Ovejería, y en la parte oriental, el de Cerro bola de Atajo. En ambos casos se ponen en contacto con las rocas del Complejo Volcánico de Farallón Negro por medio de fallas de alto ángulo donde al basamento le corresponden los bloques ascendidos.

En la Sierra de la Ovejería predominan pizarras y filitas de carácter bastante homogéneo. La coloración es gris verdoso a verde y verde oscuro, la composición de las pizarras y filitas es principalmente sericita, clorita y cuarzo.

La esquistocidad es bien desarrollada, a pesar de estar plegada, y contener numerosos planos de esquistocidad secundarios; tienen rumbo predominante N-S.

Este bloque ha sido ascendido e inclinado hacia el SSE y separa al complejo volcánico Farallón Negro del grupo volcánico de Vis, que se halla fuera de la zona estudiada.

En la Sierra Boa de Atajo las rocas predominantes son gneises, migmatitas y rocas graníticas con megacristales de microclino de hábito porfiroide. Se ponen en contacto con el grupo volcánico de Farallón Negro a través de un sistema de fallas de escamas, entre las cuales se intercalan fajas del Calchaquense de unos 50 m. de espesor. En conjunto esta sierra, se trata de un bloque con inclinación hacia el E y ESE y que separa al Complejo Volcánico del Atajo, el cual se encuentra fuera de la zona estudiada.

Calchaquense: Las rocas más antiguas que se asientan sobre el Basamento Cristalino, son areniscas de origen continental de coloraciones rojizas, más raramente grises y blanquecinas. A estas rocas se las ha denominado Calchaquense y su edad se atribuye, con reservas, al Mioceno.



El Calchaquense aflora dentro de la reserva de YMAD únicamente en su ángulo NE. Aquí presenta buena estratificación en bancos alrededor de 1 m. de espesor, llegando muchas veces hasta 0.3 – 0.6 m. El rumbo general es NNO – SSE y forma un anticlinal cuyo eje tiene dirección NO – SE aproximadamente, y se hunde hacia el norte. Las areniscas son tanto mineralógicamente como texturalmente inmaduras. Por la composición de los clastos, se infiere que el material que compone estas areniscas proviene del Basamento Cristalino.

Complejo Volcánico Farallón Negro: El Grupo Volcánico Farallón Negro comprende una gran variedad de rocas cuya composición varía desde basalto – basandesita hasta riolita, y constituyen tobas, brechas, diques, filones capa (sills), domos endógenos y stocks.

II Geología del Depósito

Litología:

Los cuerpos intrusivos relacionados con la mineralización, consisten en una serie de pórfidos dacíticos, instruidos en el Complejo volcánico Farallón Negro. La mineralización también se extiende a las andesitas que fueron instruidas por estos pórfidos.

Se pueden distinguir un total de cinco intrusiones de pórfido dacíticos, formando un stock principal. Intrusiones tardías en forma de diques, cortan a este stock principal y se extienden en las andesitas adyacentes en un diseño radial.

Los distintos pórfidos pueden ser distinguidos por sus variedades texturales y contenido de fenocristales y relación con la mineralización, pero son clasificados como intrusiones individuales por reconocimiento de contactos y relaciones de yacencia.

Las texturas porfíricas consisten en fenocristales de plagioclasas, biotita y anfíboles de hasta unos pocos milímetros en su máxima dimensión, en una matriz fina, cristalina de cuarzo y feldespato. Prominentes ojos de cuarzo pueden aparecer en algunas variedades de pórfido, xenolitos de rocas andesíticas, monzoníticas o de pórfidos tempranos, pueden aparecer en pórfidos más tardíos. También pueden aparecer localmente, abundantes fragmentos angulosos de venas de cuarzo.

Distribución espacial del yacimiento

Se trata de un yacimiento de tipo hidrotermal, epitermal, con vetas de cuarzo y carbonatos con mineralización de oro, plata y manganeso. Actualmente, la producción se traduce en la obtención de lingotes de oro, granallas de plata y el manganeso por hoy se desecha.

El Yacimiento Minero Aguas de Dionisio posee una distribución característica comprendida por distintas vetas, que a continuación se da a conocer el detalle de cada una de éstas.

- **Veta Encuentro**

Esta posee una mineralización similar a la veta Farallón Negro, con un rumbo general NO (290°-315°) y un buzamiento variable entre 70°-85° hacia el NE y SO. Tiene una corrida



de 900 metros con un ancho promedio de 3.3 metros con leyes de hasta 5 g/T de Au y 122 g/T de Ag.

- **Vetas de Alto de la Blenda**

Este sistema de vetas está compuesto mineralógicamente por cuarzo y carbonatos de manganeso, con oro y plata y sulfuros granulares de Zn, Pb, Cu y Fe (esfalerita, galena, calcopirita y pirita).

El complejo de vetas Alto de la Blenda posee un rumbo NO-SE con buzamiento variable entre 60° NE hasta la vertical.

A este complejo se lo puede dividir según su ubicación geográfica en distintas vetas:

- En la zona NO se encuentra la Veta Laboreo que posee un ancho variable entre 1- 3 metros
- Al sector central se lo denomina Zona de Nudo en donde se encuentra la unión entre la Veta Laboreo y la Veta Portezuelo.
- Al SE se ubica la Veta Esperanza con un ancho variable entre 4 - 14 metros.
- Todas las vetas caracterizadas anteriormente aportan mineral de baja ley, 2.2 g/T de Au y 70 g/T de Ag.
- Más al SE se ubica la Veta Esperanza Sudeste la cual tiene un rumbo general NO - SE y buzamiento desde 50°NE hasta la vertical, posee una longitud de 400 metros y un ancho variable entre 3-11 metros, con leyes promedio de 4.5 g/T de Au y 150 g/T de Ag.

1.5. ASPECTOS OPERATIVOS DE LA MINA

1.5.1. Método de Explotación

El método de explotación utilizado actualmente es el de Perforación de Cámaras mediante Tiros Largos, el mismo consiste en realizar dos galerías basales sobre mineral, desde las cuales se realizan perforaciones verticales de longitud considerable sobre veta para obtener mayor material por voladura. Este material es luego retirado por palas cargadoras de bajo perfil, las cuales son operadas por tele-comando para mayor seguridad (debido a la presencia de cámaras abiertas), transportando el mineral a bolsillos o buzones de carga, en donde camiones volquetes con capacidades de 10 a 20 toneladas lo extraen a superficie. Cuando se ha explotado la cámara completa, se rellena el volumen correspondiente con material estéril, de tipo detrítico, proveniente de canteras ubicadas en superficie y/o de labores de desarrollo; dicho material es ingresado al interior de mina por medio de chimeneas de relleno o camiones; ésto sirve para el sostenimiento de los hastiales, como así también, de piso de trabajo para explotar la franja superior. El mineral minado es clasificado en Alta Ley (3–5 gr/t) y Baja Ley (0.8–3 gr/t), para luego ser enviado a Planta de Beneficio en donde se divide en dos procesos de concentración.



A continuación se detalla la secuencia de explotación mediante Tiros Largos:

1. Se realizan las dos galerías basales sobre mineral. Luego se conectan ambas mediante una chimenea, que puede ser perforada desde el nivel inferior o superior.

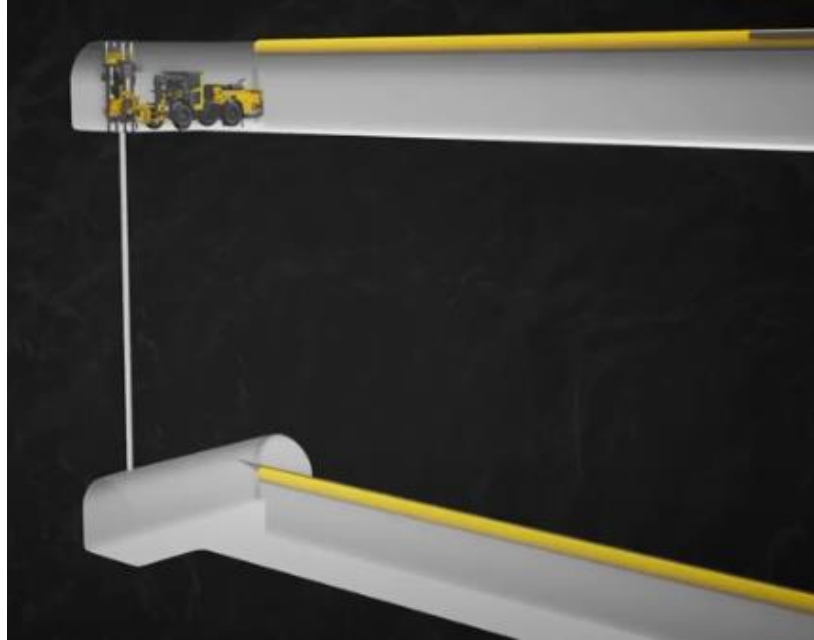


Imagen 1: Basales sobre mineral y perforación de chimenea

2. Se perforan las filas de producción, esto puede ser antes o después de la apertura de la rainura. Dependiendo de las características de la veta, pueden ser verticales paralelos o en abanico.

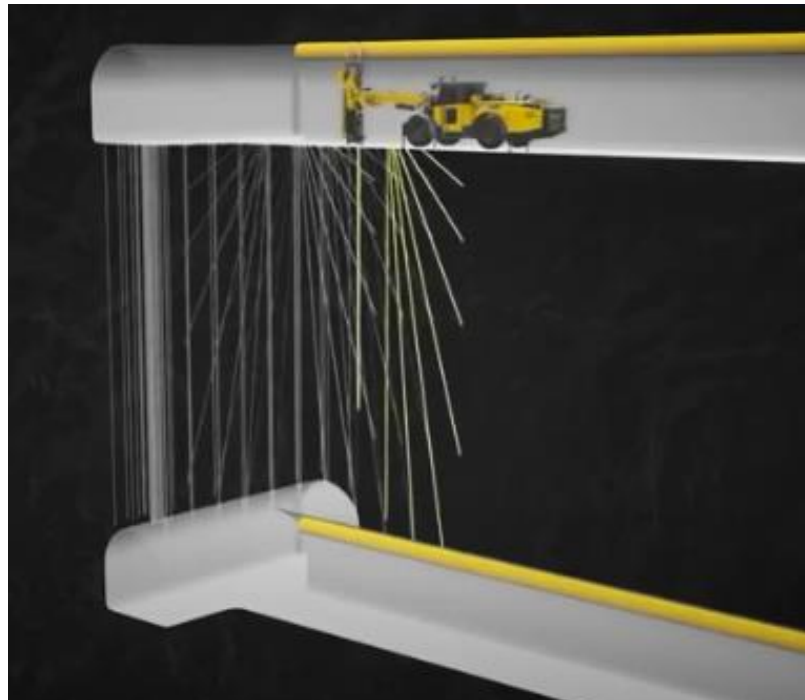


Imagen 2: Perforación de filas de producción



3. Para generar la conexión entre ambos basales se realiza la voladura de la rainura, generando la primera cara libre de la cámara. Se extrae el mineral con palas de bajo perfil con telecomando.

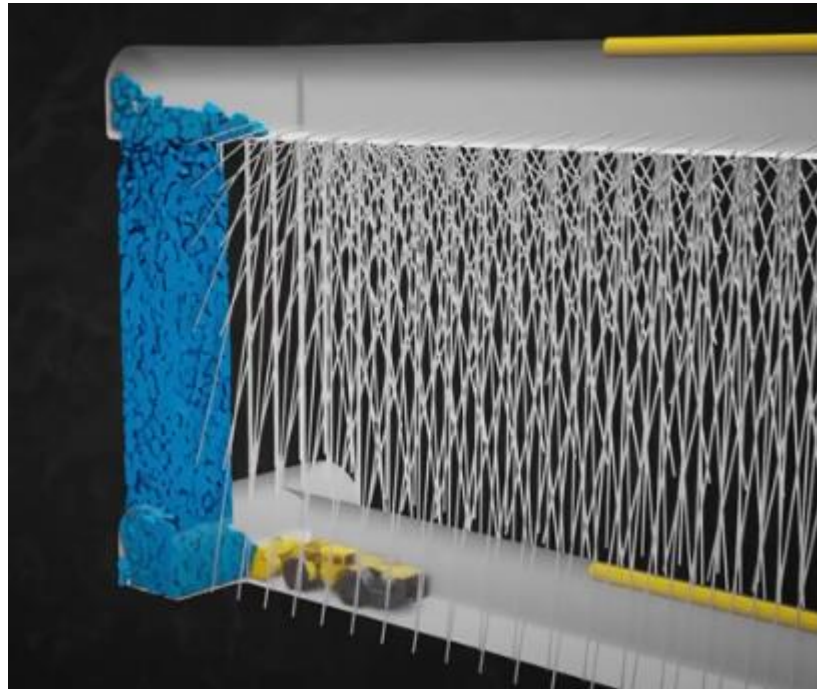


Imagen 3: Apertura de cámara

4. Se procede a la explotación de la cámara mediante voladuras de las filas de producción, con posterior extracción de mineral.

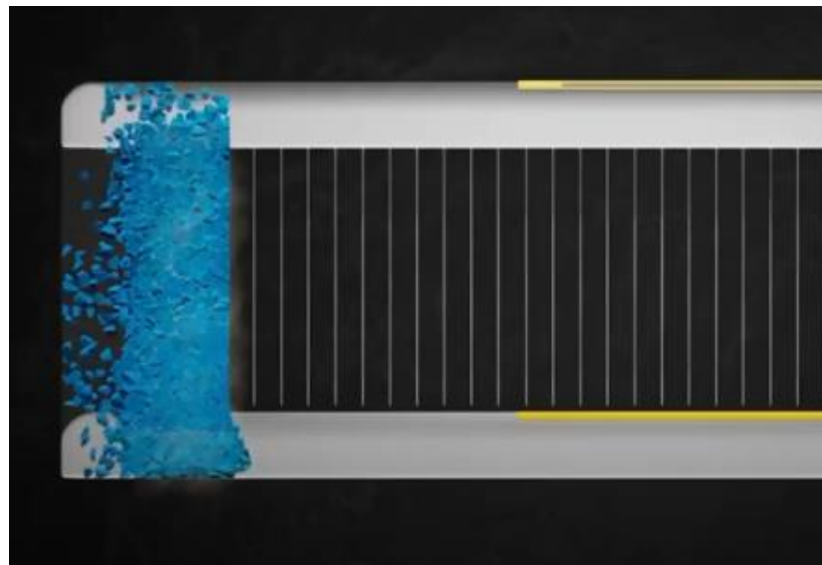


Imagen 4: Explotación de cámara



5. Una vez realizada la explotación de la cámara se procede al relleno de la misma con material estéril, es decir relleno detrítico. Dependiendo las condiciones puede ser relleno en boca a medida que se avanza con la explotación de la cámara, o bien al finalizar la explotación se realiza una tranca en el nivel inferior, con posterior ingreso de relleno como indica la figura.



Imagen 5: Relleno de cámara

6. Una vez rellena la cámara, el nivel superior sirve de piso para continuar explotando la veta en forma ascendente.

1.5.2. Capacidad de producción

El área de mina actualmente cuenta con dos vetas en producción: Veta Esperanza Sudeste y Veta Encuentro, que producen un movimiento promedio de alrededor de 280.000 t/año, con un envío aproximado de mineral de alta ley (aproximadamente 3,5 gr/t), de 95.000 t/año al triturador principal y de 185.000 t/año de mineral de baja ley (aproximadamente 2 gr/t) al triturador secundario.

La producción diaria de la mina es de 250 t/día de alta ley y de 500 t/día de baja ley. Y el proceso de arenas es aproximadamente de 750 t/día, en una relación de 3:2 mineral-arena.

1.5.3. Diseño de la mina

La mina está desarrollada horizontalmente por galerías basales y de transporte que se comunican por chimeneas (labores verticales) y rampas (labores inclinadas).

Veta Esperanza Sudeste cuenta con una Rampa principal de acceso y transporte hacia los diferentes niveles, de 4,50 m x 4,50 m con pendiente negativa de 12 % y 720 metros de longitud.



En el caso de Veta Encuentro tenemos acceso por Rampa 3 y Rampas zigzag, aunque esta última no se encuentra habilitada. Estas rampas permiten el uso de máquinas de alta capacidad, y galerías de acceso a los subniveles, desde donde se realiza el arranque del mineral en forma ascendente hasta llegar al nivel superior y en retirada. Ambas vetas en explotación se encuentran conectadas entre sí por una Rampa de Acceso al Nivel 2446.

Los bloques están limitados por las rampas en zigzag y por dos niveles principales. Su longitud promedio es de 500 metros de largo, su altura de 90 metros y el ancho está determinado por la potencia económica del manto (entre 2 a 9 metros según el sector).

Estas labores están comunicadas al nivel principal superior por las chimeneas de ventilación y servicios.

La ventilación de la mina se realiza por medio de ventiladores aspirantes ubicados en el exterior, e ingreso natural de aire por rampas y chimeneas. El tiempo de ventilación de las labores mineras es de 60 minutos, a excepción de los días en que sopla el viento zonda, en que el tiempo de la misma es mayor.

Las tareas de la mina se ejecutan en 2 turnos diarios de 12 horas c/u. En los cuales trabajan aproximadamente 30 operadores por turno; además de los operarios de mantenimiento (2 o 3 mecánicos) y sectores de apoyo (seguridad, geología y topografía).

Se adjuntan perfiles longitudinales de Veta Alto De La Blenda y Veta Encuentro en la sección Anexo I.

1.5.4. Tratamiento del Mineral

El mineral minado es clasificado en alta y baja ley, para luego ser enviado a Planta de Beneficio, en donde el tratamiento del mineral se realiza mediante dos tipos de procesos:

- Cianuración por Agitación, para mineral de alta ley (tenor de Au por encima de 3 gr/t).
- Cianuración por Lixiviación en Pilas, para mineral de baja ley (tenor de Au entre 0.8 a 3 gr/t).

1.5.5. Cianuración por Agitación, para mineral de alta ley

Esta planta actualmente en funcionamiento tiene una capacidad instalada para procesar aproximadamente 250 t/día de mineral.

El tratamiento se realiza en cinco etapas: Trituración, Molienda, Cianuración, Precipitación y Fusión.

- a) *Sector trituración:* En este sector se tritura mineral extraído de la mina hasta alcanzar un tamaño menor a 1/2"; para ello es necesario realizar una trituración primaria, con una trituradora de mandíbula, y luego una trituración secundaria, con una trituradora de conos.



- b) *Sector molienda:* En este sector se produce la molienda del mineral, proveniente del sector trituración para llevarlo a un tamaño menor de 44 micrones. La molienda se efectúa en un circuito cerrado, con un molino de bolas, 2 bombas de arena y 3 hidrociclones. Se utilizan bolas de acero forjada como elementos de molienda.
- c) *Sector de cianuración:* En este sector se realiza la lixiviación de Au y Ag mediante una solución cianurada. Esto es posible debido a la gran afinidad química existente entre dicha solución y las partículas de Au y Ag. El circuito está formado por una serie de 4 espesadores a rastras, un clarificador de solución rica, 2 agitadores neumáticos y un filtro a disco que trabaja en serie con 2 cintas transportadas.
- d) *Sector de Precipitación:* Aquí se recibe la solución rica de la planta de cianuración por agitación y la de las piletas de las pilas de lixiviación. En este sector se hace precipitar los metales de interés económico (Au y Ag) aplicando el método Merrill-Crowe, el cual utiliza polvo de Zinc para precipitar mediante reacciones de óxido-reducción los iones de Au y Ag contenidos en las soluciones de lixiviación.
- e) *Sector Fusión:* En este sector se funde el material proveniente de la precipitación (precipitado de Ag, Au y Zn), se colocan moldes formándose de esa manera el bullión o lingotes de Au y Ag de alta pureza. La fusión se realiza en 4 hornos basculantes, con crisoles de carburo de silicio y/o grafito a temperatura de 1400° aproximadamente.

1.5.6. Cianuración por Lixiviación en Pilas, para mineral de baja ley.

- a) *Sector Trituración:* Ídem a la Trituración de Alta Ley por cianuración por agitación.
- b) *Sector Aglomeración:* En esta etapa el mineral proveniente de sector trituración se mezcla en un tambor aglomerador con una solución de cal y cianuro, con el fin de obtener un producto homogéneo, donde las partículas finas se adhieren a la de mayor tamaño, de forma tal que haya mayor permeabilidad en la pila; esto favorece la percolación de la solución cianurada y por consiguiente aumenta la lixiviación y recuperación de los metales.
- c) *Sector lixiviación:* En esta etapa el mineral de la pila es lixiviado a través de un sistema de riego por goteo, con una solución de 900 ppm de cianuro de sodio; la lixiviación se produce por una gran afinidad química existente entre dicha solución y las partículas de Au y Ag. Para el goteo se utilizan tubos de PVC de 1 pulgada de diámetro dispuesto adecuadamente sobre las pilas, y en cuyos extremos se adhiere a un rociador. El producto final de la lixiviación es una solución enriquecida con Au y Ag (los complejos dicianoaurato y dicianoargentato).



CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2. Ventilación de mina

2.1. Definición

La ventilación de mina es la operación auxiliar de mayor importancia en las explotaciones subterráneas. Su finalidad es generar y mantener en el interior del yacimiento una atmósfera cuya composición, temperatura y grado de humedad sean compatibles con la salud y la seguridad, lo cual genera una mejora en el rendimiento del personal.

Esta operación se refiere a distribuir y encausar la circulación de volúmenes de aire dentro de las operaciones mineras del modo más económico, ya sea por medios naturales o mecánicos, a fin de satisfacer las necesidades de oxígeno; tanto del personal como de los equipos de combustión interna; diluir y transportar los contaminantes, ya sean sólidos o gaseosos, para no afectar la capacidad de trabajo y salud del trabajador, además de mejorar las condiciones ambientales y termo ambientales de la mina a concentraciones y temperaturas aceptables.

2.2. Objetivos de la ventilación de mina

El objetivo principal de un sistema de ventilación subterránea es proveer de aire en la cantidad y la calidad suficiente para diluir contaminantes a concentraciones seguras, en todas las labores que sean necesarias para el trabajo o transporte del personal y los equipos.

Además, se destacan los siguientes objetivos:

- Mantener el oxígeno necesario para la vida de los trabajadores.
- Suprimir los gases tóxicos producidos en la voladura.
- Evitar la formación de mezclas explosivas gas - aire.
- Reducir la concentración nociva de polvos en suspensión.
- Reducir la temperatura.

Además, la ventilación de mina debe proveer **un ambiente laboral seguro y confortable**.

A fin de lograr estos objetivos será necesario:



- Garantizar una corriente de aire fresco y limpio a los frentes de trabajo, aprovechando las condiciones naturales y empleando medios auxiliares.
- Hacer circular el aire fresco de forma continua.
- Determinar la ubicación y dimensionamiento que deberán tener los ventiladores.
- Establecer la ubicación y propiedades que deberán tener los reguladores y puertas de ventilación.

2.3. Propiedades Físicas del Aire¹

2.3.1. Parámetros básicos del aire

El aire de minas, que es una mezcla de gases y de vapor de agua, se acerca a los gases perfectos por sus propiedades físicas.

Densidad de aire (ρ): es la cantidad de masa de aire contenida en unidad de volumen:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{G}{g * V}$$

Dónde:

ρ = Densidad [kg/m³]

G = Peso [kg m/s²]

g = Aceleración de la gravedad [m/s²]

M = Masa [kg]

V = Volumen [m³]

Peso específico (γ): es el peso del aire en unidad de volumen.

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

¹ Ventilación de Minas. Alejandro Novitzky (1962) – Parte II. Capítulo 1



Dónde:

γ = Peso específico [kg/m³]

G = Peso [kg]

V = Volumen [m³]

En ventilación de minas se utiliza el peso específico standard: $\gamma_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$ que es el peso de 1 m³ de aire, con una presión de 1 atm a temperatura de 15° y humedad de 60%.

Su relación con la densidad es:

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

El peso específico indica también cuantas veces un gas es más pesado o más liviano que el aire.

Volumen Específico: Es el volumen en m³ ocupado por 1kg de aire a presión y temperaturas dadas.

$$V = \frac{1}{\gamma}$$

Presión del aire: se expresa en atmósferas absolutas o en técnicas. Por una atmósfera absoluta se entiende la presión $p_0=1,0333 \text{ kg/cm}^2$ de una columna de 760 mm de mercurio a 0° al nivel del mar. Con el cambio de la altura sobre el nivel del mar y de la temperatura, la presión p cambia de la manera siguiente:

$$\log p = \log p_0 - \frac{a}{18.4 - 0.067 * t}$$

Dónde:

p_0 = 760 milímetros de Hg, presión a nivel del mar

a = Altura sobre el nivel del mar

p = Presión en la altura a

t = Temperatura media del aire entre el nivel del mar y el punto considerado.

Como en la ventilación en minas, las presiones son muy pequeñas, estas se miden en kg/m² o en milímetros de agua, que numéricamente son iguales.

En la técnica para facilitar los cálculos se utiliza la atmósfera técnica o métrica, igual a 1kg/cm² = 10 m de columna de agua = 737,5 mm de mercurio.



Temperatura: Se expresa en grados Celsius. Por temperatura normal en la ventilación de minas se toman 15°.

$$T = t + 273$$

Calor específico: “c” es la cantidad de calor, en calorías, que se necesita para calentar 1kg de gas de 0 a 1°.

$$W = G * c(t_2 - t_1)$$

Para calentar G kg de gas de la temperatura t_1 a t_2 se necesitan W calorías.

2.3.2. Leyes Básicas para el Aire

Ley de Boyle: A temperatura constante, los pesos específicos del gas están en razón directa de las presiones absolutas y en razón inversa de los volúmenes:

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

Donde:

y = Pesos específicos del gas,

p = Presiones absolutas, y

v = Volúmenes

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 = \text{Constante}$$

Ley de Gay-Lussac: A una misma presión, la relación del volumen a temperatura absoluta es constante:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{y_2}{y_1}$$

Donde:

v = Volúmenes,

T = Temperatura absoluta, y

y = Pesos específicos del gas.

Con el aumento o disminución de temperatura de 1° hasta 0°, el volumen de gas aumenta o disminuye en 1/273 de su volumen.



$$v_2 = v_1 \left(1 + \frac{t}{273} \right) = v_1 (1 + 0,00366 t)$$

Ley Universal de los gases: La *ley de Charles* y la *ley de Boyle* se pueden combinar matemáticamente para producir lo que se conoce como la Ley universal de los gases:

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = R$$

Donde:

R = Constante de los gases perfectos, para el aire seco. Es igual a 29.27 y para el vapor de agua 47.1.

El peso específico del aire seco puede ser fácilmente determinada utilizando la ley universal de los gases:

$$y = \frac{1}{v} = \frac{p}{RT}$$

Dónde:

y = Peso específico [kg/m³]

Como en las labores subterráneas, con el aumento de profundidad la presión y la temperatura aumentan, según la ecuación anterior, se puede observar que se compensa, y la densidad no varía significativamente.

Ley de Dalton: La presión de una mezcla de gases y de vapores es igual a la suma de las presiones parciales que tendría cada gas por separado estando solo:

$$p = \sum_1^n p_i$$

2.3.3. Humedad del Aire

El aire siempre tiene cierta cantidad de agua. Según la Ley de Dalton, tenemos:

$$p_t = p_a + p_v$$

Donde:

p_t = Presión total

p_a = Presión parcial de aire seco

p_v = Presión parcial de vapor



Se entiende por humedad del aire al contenido de vapor de agua que este presenta. Desde el punto de vista de la ventilación se debe distinguir entre la humedad absoluta y relativa:

La humedad absoluta: es el contenido de vapor de agua, en gramos, en 1 m³ de aire. Cuanto mayor es la temperatura del aire mayor es la cantidad de vapor del agua que puede contener, hasta cierto máximo para cada temperatura. El aire que contiene la cantidad límite del vapor de agua se denomina saturado, y en este caso la presión parcial p_s , es máxima.

La humedad relativa (φ): es la relación del contenido de vapor de agua en el aire con su contenido máximo posible a temperatura dada.

También la humedad relativa es el cociente de la *presión del vapor* p_v contenido en el aire a la *presión de saturación* p_s , a la misma temperatura:

$$\varphi = \frac{p_v}{p_s} * 100\%$$

La medición de la humedad relativa se realiza con psicrómetro, higrómetro e hipsómetro.

El grado de saturación que alcanza el aire dentro de una mina, depende en primer lugar, de la humedad relativa del aire exterior, y luego de la humedad existente en las labores subterráneas.

Cuando la corriente de ventilación ingresa en la mina, se produce una disminución de su volumen como consecuencia de la profundidad creciente, y como la misma cantidad de humedad se encuentra en un volumen cada vez menor, hay un incremento de la humedad relativa.

Contrariamente, cuando la corriente de ventilación sale del yacimiento, se produce una disminución de la humedad relativa, en función del aumento del volumen que se produce como consecuencia de la disminución de la presión ambiente.

En las labores de ingreso al yacimiento, la corriente de ventilación se calienta rápidamente, de modo que por el aumento de volumen que experimenta el aire, en los enganches inferiores, existe grado de saturación bajo. En algunos yacimientos, el incremento de temperatura es tan rápido, que el grado de saturación puede bajar aún más en determinadas partes de la mina. Sin embargo, cuando la corriente de retorno llega a los niveles superiores que tienen una temperatura menor, el volumen disminuye y aumenta rápidamente el grado de saturación. Generalmente en el pique o chimenea de retorno de la ventilación, el enfriamiento suele ser tan grande que la saturación llega al límite formándose niebla.



2.4. Atmósfera de Mina²

Con el nombre de “Atmósfera de mina”, se designa a la mezcla de gases, vapores y polvos existente en los distintos ambientes de un yacimiento. La atmósfera de mina se puede dividir, en función de los tipos y concentraciones de gases presentes, de la siguiente manera:

- Atmósfera Normal: este caso se presenta cuando el aire de la mina tiene una composición muy cercana a la del aire atmosférico.
- Atmósfera Viciada: cuando el aire de la mina no es apto para la respiración, o lo es con reparos por el alto contenido de gases irrespirable que presenta, entre los que se puede mencionar al dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2), metano (CH_4), acetileno e hidrógeno (H_2).
- Atmósfera Tóxica: cuando el aire de la mina contiene mezclas venenosas de gases tales como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO , NO_2 , N_2O), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de azufre (SO_2).
- Atmósfera Explosiva: cuando existe en el aire de la mina la presencia de gases inflamables tales como el metano (CH_4), hidrocarburos o monóxido de carbono (CO) que posean la capacidad de producir explosiones.

Mediante la ventilación, se debe tratar de mantener en las distintas labores del yacimiento una atmósfera normal, mediante el ingreso de aire atmosférico o fresco desde la superficie.

El aire que llena las labores mineras se llama aire de mina. Un aire que no se diferencia o es próximo por su composición al atmosférico y es totalmente respirable, se llama aire fresco, llamándose aire viciado en caso contrario.

El aire o fresco, al ingresar al yacimiento sufre importantes cambios en su composición. El N_2 sube, el O_2 baja, aumenta la concentración de CO_2 , se incrementa la cantidad de vapor, se incorporan otros tipos de gases y aparece el polvo. Las causas que originan este cambio de composición son variadas y entre ellas se pueden mencionar:

- Respiración del personal que se encuentra en el interior de mina.
- Funcionamiento de los equipos de combustión interna dentro de la mina.
- Realización de voladuras en los distintos frentes de explotación.
- Operaciones básicas de la explotación.
- Descomposición de sustancias o materias minerales y/u orgánicas.
- Presencia de agua en el interior de mina.
- Introducción y manejo de relleno en mina.

² Ventilación de Minas. Alejandro Novitzky (1962) – Parte I. Capítulo 1



2.4.1. Composición del aire de Minas

La composición del aire atmosférico seco es:

Nitrógeno	78,08 %
Oxígeno	20,95 %
Anhídrido Carbónico	0,03 %
Argón	0,93 %
Otros gases	0,01 %

Tabla 1: Composición del aire atmosférico

El contenido de vapor de agua en el aire oscila entre 0.05 – 4 %, en promedio 1% según volumen. Al pasar por una mina, la composición del aire cambia, la cantidad de oxígeno disminuye, el anhídrido carbónico aumenta; además en el aire se encuentran gases, otros vapores y por supuesto, polvo.

Un hombre en reposo consume cerca de 7 litros/minutos de aire. Esta cantidad pasa a 25 litros/minutos cuando trabaja, y puede ascender hasta 40 litros si hace un esfuerzo considerable. El hombre aspira el 17% de oxígeno.

2.5. Contaminantes que afectan el medio ambiente subterráneo

La exigencia fundamental para el sistema de ventilación en la mina, es proporcionar aire para la respiración del personal y en un estado que no cause ningún efecto negativo inmediato o a futuro.

Debido a los procesos de minería, si no se proporciona flujo de aire fresco a las labores requeridas, el aire se convertiría muy rápidamente viciado, contaminado y no apto para el consumo humano. Por lo tanto, el sistema de ventilación debe ser suficiente para diluir los contaminantes liberados durante las operaciones. Si éstos no son diluidos adecuadamente, a medida que son identificados, pueden convertirse en el mejor de los casos en molestias para los trabajadores de las minas, y en el peor de los casos en la causa de enfermedades graves o incluso mortales.

Los contaminantes principales producidos durante los laboreos mineros subterráneos son:

- **El polvo.**
- **El calor.**
- **Los gases** (incluyendo vapor de agua, por ejemplo; la humedad).

Y el principal método para suprimirlos es un sistema de ventilación eficaz que:

- Suministre oxígeno y temperatura fresca.
- Diluya polvo y gases.
- Elimine los contaminantes del lugar de trabajo.



Es posible que cualquier sustancia conocida sea identificada, ya sea en el aire que respiramos o los alimentos que comemos. Aunque el cuerpo humano está preparado para rechazar o absorber éstas sustancias, esto sólo puede realizarse proporcionando las cantidades correspondientes y no excesivas.

La búsqueda para identificar sustancias específicas y sus concentraciones nocivas, está en establecer límites bajo revisión permanente. Los niveles de contaminantes atmosféricos que son "seguros" en un ambiente de seguridad y salud laboral, son a menudo difíciles de determinar. Hay muchos factores que deben ser considerados, incluyendo:

- La variabilidad en la respuesta de los individuos a los contaminantes.
- Los efectos sinérgicos (por ejemplo, el efecto combinado de la exposición simultánea a varios contaminantes).
- Ritmo de trabajo (afecta a la tasa de respiración).
- Ciclo de trabajo (ciclos de trabajo "comprimidos" dan al cuerpo menos tiempo de recuperación entre las exposiciones).
- Evolución de los conocimientos científicos.

Seguridad y Salud Laboral

Hay sorprendentemente una amplia gama de riesgos ambientales en la minería subterránea, incluyendo polvos y gases venenosos, asfixiantes, cancerígenos o explosivos, y niveles extremos de calor y humedad. Un número significativo de estos riesgos puede dar lugar a graves problemas de salud, que van desde daño físico a largo plazo (por ejemplo, enfermedades pulmonares), a la muerte inmediata (por ejemplo, intoxicación por monóxido de carbono, envenenamiento por gases o un golpe de calor).

El papel de un sistema de ventilación de minas es controlar estos peligros, pero antes de llevar a cabo cualquier trabajo de diseño en ingeniería de ventilación, es vital que los riesgos sean bien entendidos.

El Sistema Respiratorio

Algunos procesos involucrados en actividades como la minería, producen niveles de contaminantes y condiciones ambientales que están fuera de aquellos con los que los sistemas de defensa naturales del cuerpo pueden hacer frente.

La función del potencial máximo de capacidad humana se reducirá rápidamente en ambientes contaminados con polvo, gases, calor y humedad, y los efectos a largo plazo de la exposición a contaminantes pueden tener graves efectos sobre la salud médica general.

Los gases, vapores y polvo pueden entrar en el cuerpo humano en tres formas:

- Inhalado en el sistema respiratorio,
- Ingerido con los alimentos y la saliva en el sistema digestivo,
- Absorbido a través de la piel.



Sin embargo, el sistema respiratorio es el principal punto de entrada al cuerpo para muchas de las partículas y gases contaminantes que se encuentran en el ambiente subterráneo.

Cada órgano del cuerpo requiere oxígeno. El oxígeno es 'capturado' en pequeños sacos de aire (llamados alvéolos) en los pulmones. Cuando el aire es aspirado, pasa a través de las paredes de los alvéolos y los capilares que rodean en el torrente sanguíneo. La sangre transporta el oxígeno a los tejidos del cuerpo, donde son consumidos en el proceso de producción de energía, produciendo dióxido de carbono como producto de desecho. El torrente sanguíneo transporta el dióxido de carbono a los alvéolos para ser exhalado. La diferencia entre las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre en los capilares y el aire en los alvéolos provoca un intercambio de gases.

Un adulto respira entre 2 litros y 4 litros de aire por minuto (l/min), y durante los tiempos de duro trabajo, esto puede aumentar hasta aproximadamente 8 l/min. Debido a que más aire es inhalado cuando más difícil se hace el trabajo, es sencillo entender por qué los trabajadores en puestos de trabajo pesados, y en contacto con el polvo como la minería y la construcción, son más propensos a sufrir de trastornos pulmonares relacionados con el contaminante.

2.5.1. El polvo

Como nociones generales debemos saber que el polvo de mina es un conjunto de finas partículas minerales, suspendidas en el aire de la atmósfera de minas, o asentadas sobre las paredes, el piso y el techo de las labores mineras.

El aire con polvo forma un sistema disperso denominado aerosol de polvo, mientras que el que se asienta constituye un aerogel de polvo.

La aptitud de las partículas de polvo de quedarse suspendidas en el aire, un tiempo más o menos largo, depende de: su finura, de su forma, peso específico, velocidad de movimiento del aire, y de su humedad y temperatura.

En la minería, el polvo está formado por fuerzas concentradas potentes como voladura, perforación, trituración, molienda y, en consecuencia, los tamaños de las partículas de polvo son mucho más pequeñas que aquellas formadas por la naturaleza.

2.5.1.1. Fuentes de polvo

El polvo es un resultado de la desintegración de la materia, y el tamaño de las partículas se determina por el impacto por unidad de área. Por ejemplo, al golpear una roca con un martillo, será dividida en trozos grandes que forman grandes partículas de polvo. Si tuviéramos que utilizar la misma fuerza utilizando un cincel, se rompería sólo un pequeño trozo de la roca en partículas finas porque la fuerza se dirige sobre un área mucho más pequeño.



Algunas de las fuentes más significativas de polvo en las minas subterráneas, incluyen: las voladuras, el movimiento de la roca en los rajos, las operaciones de relleno, la perforación, el traslado de mineral, el rompimiento de sobre-tamaños de roca, trituradoras y los puntos de transferencia. El polvo también se libera al aire desde los neumáticos debido al tráfico, el cual es levantado desde la superficie de la calzada perteneciente a las labores de transporte.

2.5.1.2. El peligro del polvo

El sistema respiratorio es muy selectivo con respecto al tamaño y la cantidad de polvo retenido en los pulmones. No es simplemente una cuestión de la cantidad de polvo en la atmósfera que dicta la cantidad depositada en los pulmones, sino que también es la duración de la exposición y la velocidad de deposición de la zona crítica.

El tamaño de las partículas de polvo se mide y se expresa en micras (μm). La partícula de polvo más pequeña que se puede ver a simple vista bajo buenas condiciones (por ejemplo, negro sobre fondo blanco con buena iluminación), es de alrededor de $25\mu\text{m}$ y por lo general se acepta que la partícula más pequeña visible a simple vista sea tan grande como $50\mu\text{m}$.

Las partículas de polvo en la mina se sedimentarán en flujos de aire laminares de acuerdo con la Ley de Stokes. Si el flujo de aire es turbulento, entonces el movimiento de las partículas suspendidas en el aire es impredecible, tienen más probabilidades de ser removidas desde el flujo de aire por la coagulación y pinzamiento en lugar de sedimentarse.

2.5.1.3. Tamaño de partículas³

Para las sustancias químicas que se encuentran en el aire en forma de suspensiones de partículas sólidas, el riesgo en potencia depende del tamaño de las partículas, así como de la concentración másica a causa de:

- 1- Los efectos del tamaño de las partículas sobre el lugar de deposición en el tracto respiratorio.
- 2- La tendencia a asociar muchas enfermedades profesionales con el material depositado en determinadas regiones del tracto respiratorio.

Del Apéndice D: Los valores límites selectivos por tamaños de partículas se expresan:

- 1- Valores de CMP de la Masa de Partículas Inhalables (IPM – CMPs), correspondientes a aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en cualquier parte del tracto respiratorio.
- 2- Valores CMP de la Masa de Partículas Torácica (TPM – CMPs), para aquellos materiales que son peligrosos al depositarse en cualquier parte de las vías pulmonares y la región de intercambio de gases.

³ Ley 19587/79 – Dcto.351/70, Apéndice D.



- 3- Valores CMP de la Masa de Partículas Respirables (RPM – CMPs), para aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en la región de intercambio de gases.

Algunos valores de nubes suspendidas de material particulado:

11 – 7 μ	En suspensión
7 – 4,7 μ	En la laringe
4,7 – 3,3 μ	En la tráquea y bronquios primarios
3,3 – 2,1 μ	En la tráquea y bronquios secundarios
2,1 – 1,1 μ	En los bronquios terminales
1,1 – 0,6 μ	En los alveolos principales

2.5.1.4. Acción del polvo sobre la salud⁴

El contenido de polvo en el aire se expresa: gravimétricamente (en miligramos de polvo por 1 m³, o numéricamente), por el número de partículas por 1 cm³. En el caso de polvo no tóxico, el aire se considera:

Contenido de Polvo	Estado del Aire
1 mg/m ³	Poco contaminado
5 mg/m ³	Moderadamente contaminado
10 mg/m ³	Contaminado
20 mg/m ³	Muy contaminado
100 mg/m ³	Excesivamente contaminado

Tabla 2: Contenido de polvo y estado del aire

El aire siempre contiene en suspensión partículas de polvo. A veces en las ciudades, el aire contiene hasta 50.000 ó 200.000 partículas por cm³.

En las minas en explotación, el contenido de polvo suspendido en el aire oscila mucho, según el lugar desde algunos miligramos hasta algunos centenares de miligramos por m³, alcanzando algunas veces (en frente de arranque de carbón durante la roza, en chimeneas después de la pega de barrenos) algunos gramos (5 - 15) por m³. Se distinguen los siguientes tipos de polvo:

- 1- Polvo mineral no tóxico
- 2- Polvo mineral tóxico, con mineral de mercurio, plomo, cobre, arsénico, etc.
- 3- Polvo de carbón

⁴ Ventilación de Minas. Alejandro Novitzky (1962) – Capítulo 1



Hasta el *polvo no tóxico*, contenido en el aire en importante cantidad, es nocivo, ya que irrita las vías respiratorias y los ojos, ataca los pulmones y desorganiza las funciones del organismo humano en conjunto, provocando la enfermedad denominada *neumoconiosis*. Según la variedad de polvo, se diferencian:

- La *silicosis*: una de las formas más distribuidas y más peligrosa de las *neumoconiosis*, se provoca por la aspiración de sílice
- La *silicatosis*: se provoca por la aspiración de silicatos (asbesto, etc.).
- La *antracosis*: se debe a la aspiración del polvo de carbón.
- La *antraco-silicosis*: se produce por consecuencia de la acción natural de polvo de carbón y de sílice.
- La *silico-tuberculosis*: *silicosis* complicada por *tuberculosis*.

El proceso de acción patológica del polvo de rocas que entran en los pulmones (alvéolos), es muy complejo. La teoría de la solubilidad, más conocida actualmente, explica la producción de esta enfermedad por la disolución lenta en el líquido de los tejidos de los pulmones; las partículas de sílice que entran allí se transforman parcialmente en ácido silícico activo (H_2CO_3), que actúan químicamente sobre los tejidos de los pulmones.

Con el polvo destructor en los pulmones (ganga cuarzosa de minas metalíferas, material silíceo de hulleras), la defensa mediante fagocitos raramente es suficiente. Se observó con frecuencia que no pueden resistir y mueren, dejando libre las partículas encerradas por ellos, las que son encerrada de nuevamente por otros fagocitos, los que también mueren.

La enfermedad se desarrolla progresivamente en tres grados. Los indicios del primer grado son: malestar general, ahogo en el trabajo, leve tos seca.

El segundo grado se caracteriza por frecuente dolor en el pecho, respiración netamente disminuida, tos seca o húmeda, visible disminución de la capacidad de trabajo.

En el tercer grado aparece un estado de tranquilidad, tos con esputos, dolores en el tórax, pérdida total de la capacidad de trabajo.

Para la enfermedad de *silicosis* se necesitan cuatro condiciones básicas:

- 1- Concentración del polvo, que influye en la cantidad del polvo aspirado.
- 2- Tamaño y forma de los granos del polvo, así como su composición mineralógica, es decir, si en el polvo aspirado existen minerales nocivos para los pulmones (puro o en forma de mezcla), en porcentaje que pueda originar la *silicosis*.
- 3- Tiempo de estadía en el aire contaminado por el polvo, es decir, la duración de la exposición del hombre a una mezcla dada de polvo, con bajas o altas concentraciones, con un porcentaje bajo o alto de mineral nocivo para los pulmones.
- 4- Constitución física de la persona. Por ella se entiende hasta qué grado el cuerpo está en condiciones de desarrollar la fuerza de defensas, en base a la capacidad de funcionamiento de sus órganos internos.



La principal preocupación para los profesionales de minería, es la proporción inhalada y retenida de polvo en el sistema respiratorio. El sitio de la deposición varía con el tamaño, forma y densidad de las partículas, y esto fue descrito por primera vez en el procedimiento desde la Conferencia de Neumoconiosis, celebrada en Johannesburgo en 1959⁵. En resumen:

- a) Las partículas con un diámetro mayor que 10 μm se depositan en los conductos nasales. La proporción depositada cae con disminución del tamaño de las partículas. Prácticamente no hay partículas de 1 μm que se depositan en los conductos nasales.
- b) Las partículas con un diámetro mayor que 2 μm tienden a depositarse en los bronquios. Para partículas por debajo de 2 μm no hay tiempo suficiente para que se produzca el asentamiento. Partículas por debajo de 0.5 μm , la probabilidad de deposición aumenta debido al bombardeo de estas partículas muy finas en las moléculas.
- c) A causa del alto tiempo de retención en los pulmones, las partículas restantes tienen una alta probabilidad de deposición.

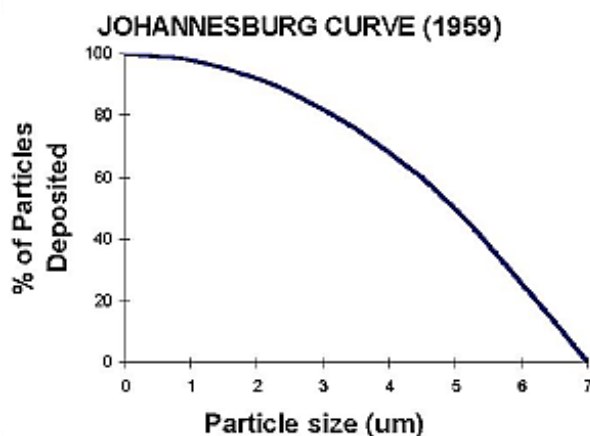


Figura 3: Curva de Johannesburgo⁶

Una simplificación de la curva de la deposición de polvo se construyó sobre esta base, y recomendado por la Conferencia Internacional de Neumoconiosis, celebrada en Johannesburgo, Sudáfrica, en 1959. Esta curva desde entonces se conoce como la curva de Johannesburgo y demuestra claramente que el 100% de las partículas <1 μm y, 50% de las partículas de 5 μm y, el 20% de las partículas de 6 μm , y, 0% de partículas > 7 μm entrará en el pulmón humano, por lo tanto, las partículas de polvo menores de 7 μm son la principal preocupación en las minas.

La fracción inhalable, se define como la fracción de la masa de las partículas del aerosol total que se inhala a través de la nariz y la boca.

⁵ HATCH, T., “Respiratory Dust Retention and Elimination” Proceedings of the Pneumoconiosis Conference. Johannesburg 9th – 24th February 1959. p 113,132

⁶ BASIC MINE VENTILATION Revision 5. © AMC Consultants Pty Ltd 2005



La fracción torácica, se define como la fracción de la masa de las partículas inhaladas que penetran más allá de la laringe.

La fracción respirable, se define como la fracción de la masa de las partículas inhaladas que penetran en las vías respiratorias no ciliadas.

Material particulado inorgánico (neumoconiógenos)⁷

El más importante de este material es la sílice libre cristalizada (cuarzo, cristobalita y tridimita), compuesto abundante en la corteza terrestre. Al ser inhalado, este material se deposita en los pulmones ocasionando una fibrosis incapacitante: la silicosis.

Además, existen otros compuestos de sílice, los silicatos que actúan sobre el pulmón produciendo neumoconiosis. Esta designación se refiere a toda perturbación pulmonar originada por materiales finamente divididos, por ejemplo: asbesto, talco, tierra de diatomeas.

En material particulado inorgánico no silíceos se incluyen el carbón, óxido de hierro, óxido de estaño, etc.

C.M.P. para partículas de minerales de SiO₂ libre:

Por pesada:

$$\frac{30 \text{ mg/m}^3}{\% \text{ de cuarzo} + 3}$$

Por recuento:

$$\frac{10000 * \text{particulas/m}^3}{\% \text{ de cuarzo} + 10}$$

2.5.1.5. La Sedimentación

La duración de la suspensión de una partícula de polvo en el aire inmóvil se determina básicamente por interacción de dos fuerzas: la gravedad de la partícula y la resistencia del aire. Bajo la acción de la fuerza de gravedad, la velocidad de caída de las partículas aumenta; al mismo tiempo, crece la fuerza de resistencia del aire. La partícula de 10 μm cae, desde cierto momento, con velocidad constante “v”, cuyo valor se determina por la ley de Stokes.

La velocidad terminal de una partícula de polvo en el aire, depende de la fuerza de arrastre atmosférica manteniendo la partícula arriba, y la fuerza de la gravedad tirando de él hacia abajo.

⁷ Apuntes de Cátedra Higiene y Seguridad Minera – Ing. G. Sinner.



Ley de Stokes:

$$V = \frac{d^2 * g}{18 n} (W_s - W_a)$$

Dónde:

V = Velocidad de la partícula [m/s]

d = Diámetro de la partícula [m]

g = Aceleración de la gravedad [m/s²]

n = Viscosidad [kg/m. s]

W_s = Densidad de la partícula [kg/m³]

W_a = Densidad del aire [kg/m³]

Se puede omitir el peso específico del aire puesto que es muy pequeño comparado con el de la partícula.

Movimiento browniano:

El movimiento browniano, es un movimiento aleatorio, que se produce cuando las partículas de polvo chocan con moléculas de gas en el aire sin tendencia neta a moverse hacia abajo. Este movimiento verificado en observaciones realizadas sobre la partícula en cuestión, cuya resistencia disminuye y tiende a "deslizarse" por delante de la molécula de gas a una velocidad mayor que la indicada por la ley de Stokes.

2.5.1.6. Legislación

Dcto. N° 249/07 “Reglamento de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera” – Art. 54º: ... “Los contaminantes físicos deberán adecuarse a los límites permisibles”...

La norma nacional de **Higiene y Seguridad en el Trabajo. Resolución 295/2003**, en su anexo IV hace referencia, mediante los valores de CMP (Concentración Máxima Permisible ponderada en el tiempo), a las concentraciones de sustancias que se encuentran en suspensión en el aire, y representan condiciones por debajo de las cuales se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos, día tras día, a la acción de tales concentraciones sin sufrir efectos adversos para la salud.

Partículas (insolubles) no especificadas de otra forma (PNEOF), son aquellas que no tienen amianto y menos del 1% de sílice cristalina. Para reconocer los efectos adversos de la exposición a esta materia particulada no tóxica, se establecen y se incluyen en la lista de los



valores límites umbrales adoptados, una CMP de 10 mg/m³ para las partículas inhalables y de 3 mg/m³ para las respirables.

En la tabla 3 se muestran las concentraciones permisibles de algunas sustancias de acuerdo al tamaño de partícula.

SUSTANCIA	CMP		NOTACIONES	PM	EFECTOS CRÍTICOS
	Valor	Unidad			
Sílice Amorfa, Tierra de Diatomeas (sin calcinar)	10 (I) 3 (R)	mg/m ³			Irritación - Neumoconiosis
Cuarzo	0,05(R)	mg/m ³	A-2	60,8	Fibrosis pulmonar. Silicosis. Función Pulmonar. Cáncer.
Sílice Cristalina – Cristobalita	0,05(R)	mg/m ³		60,8	Fibrosis pulmonar. Silicosis.

(I) Inhalable; (R) Respirable

Tabla 3: Concentraciones permisibles de polvo⁸

2.5.1.7. Acciones de mitigación contra el polvo

Uno de los más importantes problemas de saneamiento de las condiciones de trabajo en las minas, lo constituyen las medidas contra el polvo, las cuales son:

1. Ventilación activa de las labores subterráneas.
2. Perforación de barreno con inyección.
3. Utilización para la perforación únicamente de agua limpia.
4. Perforación con empleo de humectantes.
5. Captación de polvo en seco.
6. Mojado de las paredes antes y después de la voladura y del material por cargar antes y durante la carga.
7. Pulverización de agua en lugares de formación de polvo.
8. Roza húmeda.
9. Inyección de agua en el macizo de carbón.
10. Aspiración de polvo en lugares de gran formación.
11. Utilización de los métodos de arranques en masa, y por hundimiento en masa del método hidráulico de arranque de carbón; disminución de los trabajos preparatorios.
12. Introducción de agua, filtros eléctricos, asentamiento de polvo por aerosoles.
13. Defensa individual mediante utilización de máscaras antipolvos.

El resultado satisfactorio de la lucha contra el polvo de mina, se obtiene únicamente por el cumplimiento conjunto de las medidas indicadas.

⁸ Norma Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo. Resolución N° 29572003



2.5.2. El calor⁹

Los efectos adversos del rango de calentamiento, van desde una molestia hasta enfermedades que amenazan la vida, como un golpe de calor. Incluso, niveles relativamente bajos de calor puede bajar la conformidad en el trabajo, que conllevan a todos los problemas derivados de los altos índices de accidentes y baja productividad. Esta causa y efecto simple, no es totalmente apreciado frecuentemente, y en cierto número de minas se intenta "trabajar a pesar de todo", sin hacer frente a lo que puede ser un problema muy importante y significativo que repercute en la salud de los empleados, la seguridad y la productividad de la mina.

El principio para el control de la acumulación de calor en una mina, es el mismo que el principio de un radiador de automóvil. Por ejemplo, si se deja un coche en estado de reposo durante un período prolongado de tiempo (por ejemplo, cuando se ven atrapados en un congestionamiento vial en verano), el motor del coche se sobrecalentará rápidamente porque no hay suficiente flujo de aire que pasa a través del radiador. El aire a temperatura atmosférica normal que fluye a través del radiador absorberá algo de calor de ella. Si el aire fluye constantemente a través del radiador, entonces el calor será removido, y el radiador se mantendrá a una temperatura más baja. Se cumple, hasta cierto punto que, a más rápido del flujo de aire, más rápida es la eliminación de calor.

El efecto es similar en los seres humanos y maquinaria de trabajo en un espacio cerrado, como en una mina subterránea. El aire circundante absorbe el calor generado por los seres humanos, maquinarias y la roca circundante, hasta llegar a la temperatura más alta producida por cualquiera de ellos. Las fuentes de calor en las minas se pueden clasificar como naturales (por ejemplo, temperatura de la roca, temperaturas del aire en el ambiente y la autocompresión), o artificiales (por ejemplo, diésel y máquinas de motor eléctrico), y deben tenerse en cuenta en las primeras etapas de cualquier proyecto.

2.5.2.1. Fuentes de Calor en una Mina Subterránea

Autocompresión

A medida que el aire desciende por las vías de ventilación desde la superficie, su elevación disminuye. Hay una conversión correspondiente de energía potencial en entalpía. La magnitud del cambio en la entalpía, se puede estimar usando la ecuación de energía de flujo continuo para un flujo de una elevación más alta (Z_1) a uno inferior (Z_2), suponiendo que no hay ingreso de calor ni trabajo realizado:

$$H_2 - H_1 = g (Z_1 - Z_2) \text{ (Ecuación de Autocompresión)}$$

⁹ BASIC MINE VENTILATION Revision 5. © AMC Consultants Pty Ltd 2005



Dónde:

H = Entalpía [J/kg]

Z = Altura [m]

g = Aceleración de la gravedad = 9,81 [m/s²]

La temperatura del aire seco que fluye por una chimenea seca de 1,000 m en una mina, se incrementaría en 9.76 °C (suponiendo que no hay intercambio de calor entre el aire y la roca que rodea la chimenea).

Los siguientes puntos que deben tenerse en cuenta:

- La autocompresión no es en sentido estricto una fuente de calor (resulta de una conversión de la energía, en vez de la adición de una fuente de calor externo).
- La autocompresión ocasiona que la temperatura del aire aumente, por lo tanto, a medida que aumenta la profundidad de la mina, el aire de ventilación tiene menos capacidad de eliminar el calor.
- El aumento de temperatura debido a autocompresión es independiente de la tasa de flujo de aire. Por el contrario, a medida que aumenta el flujo de aire, el aumento de temperatura debido a otras fuentes de calor disminuye.

También es importante tener en cuenta que la temperatura del agua se incrementará con la profundidad. Si el agua está contenida en tuberías, entonces este aumento de la temperatura es del orden de 0,20°C cada 1000m. Si el agua fluye libremente entonces esta temperatura aumenta a 2,34°C cada 1000m.

Transferencia de la roca circundante

La temperatura de la superficie de la roca es alrededor de la temperatura media del aire anual, y puede proporcionar refrigeración o calefacción según la temperatura del aire que fluye sobre la roca. A medida que se avance en profundidad, se incrementa el calor porque la roca no ha transferido su calor al aire. No siempre los lugares fríos tienen rocas frías. En algunos lugares, las rocas son más calientes que otros, simplemente porque son más recientes y todavía tienen que enfriarse y esto varía considerablemente.

La tasa de aumento de la temperatura con la profundidad es conocida como el *gradiente geotérmico*. El gradiente geotérmico varía dependiendo de muchos factores, sin embargo, gradientes típicos en Australia van desde 1 a 3 °C por 100 metros de profundidad vertical. La temperatura de la superficie de la roca (por ejemplo, 20 - 30 metros bajo la superficie, donde las temperaturas no son afectadas por las variaciones climáticas de la superficie), es cercana a la temperatura de bulbo seco ambiente anual media.

Para las vías de ventilación en seco, el flujo de calor desde la roca circundante hasta el aire de ventilación, es proporcional a la diferencia entre la temperatura de la roca virgen y la



temperatura del aire. La tasa de flujo de calor de la roca para el aire, aumenta cuando la vía de ventilación está húmeda. La roca que rodea una vía de ventilación, tiene la capacidad de absorber y posteriormente liberar energía térmica, en función de la diferencia entre la temperatura de la roca y la temperatura del aire. Esto a veces se conoce como el efecto de volante térmico. En algunas minas, la oxidación de minerales expuestos también puede ser una fuente importante de calor.

Calor de las Máquinas

Los motores diésel son térmicamente ineficientes y generan cargas térmicas importantes. A plena potencia, están a punto de 33% de eficiencia (es decir 33% del valor de la energía del combustible se convierte en potencia del volante; los cuales casi todo finalmente se convierte en calor), el otro 66% se convierte directamente en calor.

En las minas subterráneas, los ventiladores secundarios son también una fuente importante de calor. Por ejemplo, un ventilador de consumo de 180 kW de energía eléctrica no hace ningún trabajo útil en un sentido termodinámico, y por lo tanto todos los 180 kW de energía eléctrica se convierte en calor.

Explosivos

Sólo el 5% de la energía producida por la voladura se utiliza para romper la roca, el 95% restante se libera en forma de calor. Durante muchos años se pensó que este calor se disipaba directamente al sistema de ventilación y se eliminaba durante el período de reingreso. Hoy es ampliamente aceptado que este calor se transfiere a la roca fragmentada, y liberada durante un período de tiempo mucho más largo y es variable, dependiendo de la velocidad de ventilación y la exposición de la superficie de la roca.

También hay que señalar que las condiciones ambientales de la superficie, pueden ser un factor importante en las condiciones de calor bajo tierra. Las temperaturas superficiales altas y la humedad pueden dar lugar a problemas de calor, incluso en minas relativamente poco profundas.

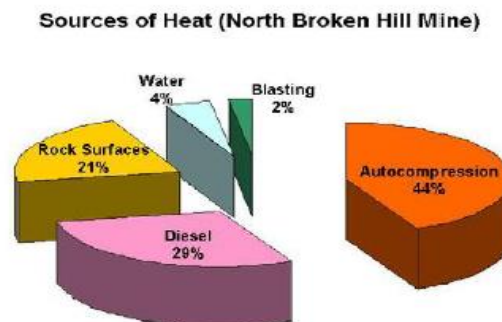


Figura 4: Fuentes de Calor en una Mina Subterránea¹⁰

¹⁰ © AMC Consultants Pty Ltd 2005. Página 16



2.5.2.2. Temperatura del Aire

La temperatura no debe ser confundida con el calor. El calor es una forma de energía y se calcula.

La temperatura es un estado y se mide. Por ejemplo, una bañera llena de agua a 30 °C contiene más calor que una taza de agua a 70 °C. La diferencia, es la capacidad térmica, que es la capacidad para aumentar la temperatura de 1 kg por 1 °C.

Hay dos mediciones de la temperatura del aire que son importantes para los profesionales de la ventilación, de bulbo seco y del bulbo húmedo.

La temperatura de bulbo seco es la temperatura real del aire, medida con un termómetro estándar, y **la temperatura de bulbo húmedo** es la medida de la capacidad de evaporación del aire. Juntas miden la **humedad relativa**, la cual es la relación, expresada como un porcentaje, del vapor de agua presente en la atmósfera a la cantidad requerida para saturar el aire a la misma temperatura. A medida que aumenta la humedad, el enfriamiento de la evaporación del sudor disminuye. Cuanto menor sea la diferencia entre las dos temperaturas, mayor es la humedad.

La capacidad de medir la temperatura del aire, tanto con el termómetro de bulbo húmedo y seco es esencial, sobre todo en las minas calientes o mal ventiladas, para controlar posibles condiciones de estrés térmico. También se requiere de estas dos propiedades para determinar con precisión la densidad del aire.

En la minería, el instrumento más utilizado para determinar la temperatura del aire húmedo y seco es el psicrómetro, o un termómetro de húmedo y seco.

2.5.2.3. Balance de Calor Corporal

La comida (combustible), se oxida en el proceso metabólico y se convierte en energía, en las formas de:

- El calor metabólico,
- El trabajo mecánico, y
- Cambio en la masa (el crecimiento del cuerpo).

Este último es insignificante (por lo general), y puede ser ignorada. Aunque la producción de calor metabólico depende principalmente de la actividad muscular, es decir, que se relaciona con el ritmo de trabajo, también varía con:

- Estado de salud del individuo,
- La aptitud física, y
- Estado emocional.



A medida que trabajamos liberamos energía en forma de calor, y es comprensible que cuanto más trabajamos, más alto es el proceso de generación de calor metabólico. La eliminación de calor generado por el cuerpo humano, depende de nuestra capacidad para sudar y la velocidad a la que se puede evaporar.

Este calor se transfiere al medio externo y, si la velocidad de generación es mayor que la velocidad de transferencia, se elevará la temperatura del cuerpo. Este almacenamiento de calor se llama la "generación de calor metabólico" o "tasa de producción de calor metabólico".

La transferencia de calor entre el cuerpo y el medio ambiente se produce a través:

- La respiración
- Radiación
- Conducción
- Convección
- Evaporación.

Que nos encontremos térmicamente confortables depende de tres aspectos: de las condiciones ambientales, de la actividad física y del tipo de vestimenta que utilicemos.

El ambiente es capaz de influir en nuestra sensación de confort a través de cuatro variables: la temperatura del aire, la humedad del aire, la temperatura de las paredes, objetos que nos rodean y la velocidad del aire.

Cada una de estas variables puede modificarse de forma natural o artificial sin alterar ninguna de las restantes.

2.5.2.4. Estrés Térmico por Calor

Es importante tener en cuenta el tiempo de trabajo expuesto al calor. Aun cuando la temperatura no sea muy elevada, el estar muchas horas expuesto, provocaría la acumulación de calor en cantidades peligrosas.

También intervienen agravando la situación, factores personales como el sobrepeso, la mala forma física, el estado de salud, la falta de aclimatación, etc.

Puede sobrevenir la muerte cuando se superen los 40°C.

2.5.2.5. Aclimatación

Una de las más características peculiaridades de la respuesta fisiológica del hombre ante la exposición al calor, es la conocida como aclimatación. La aclimatación puede definirse como la disminución del coste fisiológico, que implica una determinada exposición cuando esta se repite varios días sucesivos.



La aclimatación se logra en períodos breves de 5 a 10 días, recomendándose que la exposición se limite a un tiempo de exposición del 50% del total durante el primer día, continuándose con incrementos diarios del 10% hasta alcanzar el sexto día el 100% de la exposición diaria.

Los efectos de la aclimatación se pierden tan fácilmente como se han logrado, después de un período de ausencia del trabajo (1-2 semanas), vacaciones, periodo de incapacidad (baja laboral) prolongado.

2.5.2.6. Legislación

La **Resolución Nacional 295/2003 sobre Higiene y Seguridad en el Trabajo** entrega valores basados en la exigencia de trabajo; que se refieren al criterio para la selección de la exposición al estrés térmico.

Exigencias de Trabajo	Aclimatado				Sin Aclimatar			
	Ligero	Moderado	Pesado	Muy Pesado	Ligero	Moderado	Pesado	Muy Pesado
100% trabajo	29,5	27,5	26		27,5	25	22,5	
75% trabajo 25% descanso	30,5	28,5	27,5		29	26,5	24,5	
50% trabajo 50% descanso	31,5	29,5	28,5	27,5	30	28	26,5	25
25% trabajo 75% descanso	32,5	31	30	29,5	31	29	28	26,5

TGBH: índice de temperatura globo bulbo húmedo.

Tabla 4: Valores TGBH en °C.

Los valores TGBH (índice temperatura globo y bulbo húmedo), se calculan utilizando una de las ecuaciones siguientes:

- Con exposición directa al sol (para lugares exteriores con carga solar):

$$TGBH = 0,7 TBH + 0,2 TG + 0,1 TBS$$

- Sin exposición directa al sol (para lugares interiores o exteriores sin carga solar):

$$TGBH = 0,7 TBH + 0,3 TG$$

Donde:

TBH = Temperatura húmeda (a veces llamada, temperatura natural del termómetro del bulbo húmedo).

TG = Temperatura de globo (a veces llamada, temperatura del termómetro de globo).



TBS = Temperatura del aire seco (a veces llamada, temperatura del termómetro del bulbo seco).

Dado que la medida TGBH es solamente un índice del medio ambiente, los criterios de selección, deben ajustarse a las contribuciones de las demandas del trabajo continuo y a la ropa de trabajo, así como al estado de aclimatación.

2.5.3. Los gases

Cuando el aire con una composición de volumen de aproximadamente 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de otros gases en una base libre de humedad, ingresa a una mina u otra estructura del subsuelo, dicha composición cambia a medida que el aire avanza a través de la red de galerías subterráneas.

En primer lugar, la explotación minera subterránea permite la salida de los gases que existan en los estratos circundantes, hacia la corriente de aire de ventilación. Tales gases en el interior de los estratos se han producido con el tiempo geológico y permanecen atrapados dentro de los poros o redes de fracturas de la roca. El metano y el dióxido de carbono son gases que se liberan comúnmente de los estratos.

En segundo lugar, la disminución del contenido de oxígeno en el aire de mina ocurre a consecuencia de los procesos de oxidación de las menas y rocas sulfurosas, madera y otras materias orgánicas e inorgánicas, además de ser absorbido por la respiración de los hombres. La disminución del contenido de oxígeno en el aire de la mina, generalmente va paralela al aumento del contenido de anhídrido carbónico, el cual se desprende también de las grietas y oquedades, de las fuentes minerales, de los incendios en las galerías y las explosiones de los gases y polvo.

La acción de aguas ácidas de mina de los minerales de sulfuro puede producir el olor característico de sulfuro de hidrógeno, mientras que la quema de combustibles o el uso de explosivos producen una gama de gases contaminantes. La mayoría de las muertes provocadas por incendios y explosiones de minas, han sido causadas por los grandes volúmenes de gases tóxicos que se producen rápidamente en tales circunstancias.

Varios de los gases que aparecen en las instalaciones subterráneas, son altamente tóxicos y algunos son peligrosamente inflamables cuando se mezcla con el aire. Su tasa de producción es rara vez constante.

Además, su propagación a través de las múltiples galerías del sistema de ventilación se modifica adicionalmente por los efectos de las diferencias de densidad del gas, la difusión y dispersión turbulenta. Estas cuestiones influyen en todas las variaciones de concentraciones de gases de la mina, que se pueden encontrar en cualquier momento y lugar.



2.5.3.1. Clasificación de los gases en mina

Los gases presentes en la atmósfera de la mina, pueden clasificarse según el efecto que generen en el medioambiente, de la siguiente manera:

- 1- **Gases esenciales:** son aquellos indispensables para la vida del hombre.
 - Oxígeno (O_2).

- 2- **Gases sofocantes:** se conocen también como gases desplazadores, produciendo ahogos y en altas concentraciones llevando a la muerte.
 - Dióxido de Carbono (CO_2).
 - Nitrógeno (N_2).
 - Metano (CH_4).
 - Acetileno (C_2H_2).
 - Hidrógeno (H_2).

- 3- **Gases tóxicos o venenosos:** son aquellos gases nocivos para el organismo por su acción venenosa.
 - Monóxido de Carbono (CO).
 - Sulfuro de Hidrogeno (SH_2).
 - Dióxido de Azufre (SO_2).
 - Humos Nitrosos (NO_2 , NO , N_2O).

- 4- **Gases explosivos o inflamables:** aquellos que en altas concentraciones forman mezclas explosivas en el aire.
 - Metano (CH_4).
 - Acetileno (C_2H_2).
 - Sulfuro de Hidrogeno (SH_2).
 - Monóxido de Carbono (CO).



Característica	Metano	Monóxido de carbono	Ácido Sulhídrico	Gas Carbónico	Nitrógeno	Oxígeno
Formula química	CH ₄	CO	H ₂ S	CO ₂	N ₂	O ₂
Gravedad Específica	0,555	0,967	1,191	1,529	0,967	1,105
Incidencia en el Aire (%)	-	-	-	0,03	78,1	20,93
¿Es combustible?	SI	SI	SI	NO	NO	NO
¿Es venenoso?	NO	SI	SI	NO	NO	NO
¿Cómo se detecta?	Multidetector	Multidetector Análisis químico	Multidetector Análisis químico Tubo de control	Análisis químico	Análisis químico	Multidetector Análisis químico
Rango explosivo en el aire	5 a 15%	12,5 a 73%	4,3 a 46%	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Temperatura de ignición en °C	593 a 749	593	371	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Origen	Ocluido en el carbón y mantos de arcilla; Descomposición de material vegetal en el agua.	Combustión incompleta; Fuegos de mina, explosiones de metano y en voladuras con dinamita.	En aguas de mantos de carbón; En formaciones de sal, líneas de tuberías en lugares pobremente ventilados.	Combustión completa; Pequeñas cantidades son encontradas en forma natural en el aire.	En encontrado en forma natural en el aire; La oxidación del carbón libera nitrógeno.	Se encuentra naturalmente en el aire.
¿Cuál es el efecto sobre la vida?	Causa la muerte por sofocación si es respirado en altas concentraciones; el efecto pasa al refrescarse en aire limpio de metano.	0,10% en el aire causa un colapso completo; excluye el oxígeno de la sangre.	0,07% causa la muerte en una hora; muy venenoso; destruye el nervio del olfato.	Causa la muerte por sofocación; reemplaza el oxígeno de la sangre; respiración difícil.	Causa la muerte por sofocación; reemplaza el oxígeno de la sangre.	Necesario para la vida.

Tabla 5: Límites Máximos Permisibles (C.M.P) según ley 19.587/79-Dcto.351/79¹¹

¹¹ Anexo III – Art. 61º de la Reglamentación Aprobada por Dcto. N°351/79



Los valores CMP, hacen referencia a concentraciones de sustancias que se encuentran en suspensión en el aire. Representan condiciones por debajo de las cuales se cree, que, casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día a la acción de tales concentraciones, sin sufrir efectos adversos para la salud.

Según lo establece el **Art. 51º del Dcto, Reglamentario de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera**¹²: ...” *En el lugar de trabajo en el que se desarrollen procesos que produzcan la contaminación del ambiente, ya sea con gases, vapores, humos, nieblas, polvos, fibras, aerosoles, contaminantes biológicos o emanaciones de cualquier tipo, se deben arbitrar los medios necesarios para eliminar y/o minimizar los efectos nocivos que los mismos puedan causar a los trabajadores.*

En todos los lugares de trabajo en el que se desarrollen procesos que produzcan la contaminación del ambiente, se adecuarán las condiciones de éste a lo establecido en la Resolución M.T.E.S.S. Nro. 295/03, o sus sustitutivas o modificatorias, con las correspondientes correcciones por altitud sobre el nivel del mar (altitud s.n.m.), y duración de jornada diaria, semanal, quincenal o según lo correspondiente”.

Según lo establecido en la **Resolución M.T.E.S.S. Nro. 295/03**¹³: ...” *La aplicación de las CMP a trabajadores con turnos marcadamente diferentes de la jornada laboral de las 8 horas por día, 40 horas semanales, requiere una consideración particular si se quiere proteger a estos trabajadores en la misma medida que se hace con los que realizan una jornada normal de trabajo.”...*

- Oxígeno (O₂): 21 – 19%.
- Dióxido de Carbono (CO₂): 5000 ppm y (30000 ppm CMP-CPT/CMP-C).
- Nitrógeno (N₂): gas asfixiante simple (D).
- Metano (CH₄): gas asfixiante simple (D).
- Acetileno (C₂H₂): gas asfixiante simple (D).
- Hidrógeno (H₂): gas asfixiante simple (D).
- Monóxido de Carbono (CO): 25 ppm.
- Sulfuro de Hidrógeno (SH₂): 10 ppm y (15 ppm CMP-CPT/CMP-C).
- Dióxido de Azufre (SO₂): 2 ppm y (5 ppm CMP-CPT/CMP-C).
- Humos Nitrosos (NO₂, NO, N₂O): 50 ppm.

Gases asfixiantes simples: actúan como asfixiantes, sin más efectos fisiológicos significativos cuando están presentes en altas concentraciones en el aire.

¹² Dcto. Reglamentario de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera N°249/200

¹³ Resolución del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social M.T.E.S.S. N° 295/03



No es posible recomendar un valor límite umbral para cada asfixiante simple, porque el factor limitador es el oxígeno (O_2) disponible.

(D): el valor es para la materia particulada que no contenga amianto con menos del 1% de sílice cristalina.

2.5.3.2. Características de los gases en mina

Oxígeno (O_2)

El oxígeno es un gas desprovisto de color, sabor y olor. Tiene un peso específico que con respecto al aire es de 1,11; y además es muy activo; y necesario para la combustión y respiración.

Los seres humanos y, de hecho, la gran mayoría del reino animal son completamente dependientes del oxígeno, que comprende aproximadamente el 21% de aire atmosférico fresco. El oxígeno se difunde a través de las paredes de los alvéolos en los pulmones para formar la oxihemoglobina en la sangre. Esta sustancia inestable se descompone muy fácilmente para liberar el oxígeno cuando sea necesario a través del cuerpo.

A medida que aumenta la actividad muscular, también lo hace el ritmo de respiración y el volumen de aire de intercambio en cada respiración. Sin embargo, el porcentaje de oxígeno que es utilizado decrece en un ritmo de respiración más pesada. Para niveles bajos de actividad física, el aire exhalado contiene aproximadamente el 16% de oxígeno (O_2), el 79% de nitrógeno (N) y el 5% dióxido de carbono (CO_2). La tabla 6 indica las tasas típicas de consumo de oxígeno (O_2), y producción de dióxido de carbono (CO_2). Esta tabla es útil en la estimación de los efectos de la espiración de las concentraciones de gas en un área confinada.

Actividad	Ritmo Respiratorio/Minuto	Tasa de Inhalación de aire l/s	Consumo de O_2 l/s	CO_2 Producido l/s
Reposo	12 - 18	0,08 - 0,2	0,005	0,004
Moderada	30	0,8 - 1	0,03	0,027
Vigorosa	40	~1,6	0,05	0,05

Tabla 6: Tasa de consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono.

Se puede observar, que para una actividad vigorosa el consumo de oxígeno es igual a la cantidad de dióxido de carbono producido.

El Ing. Exequiel Yanes Garín denomina, en el primer capítulo de su libro ventilación de minas, *Cociente Respiratorio* a la razón entre el dióxido de carbono (CO_2) expelido y el oxígeno (O_2) consumido, en volúmenes.

Esta razón nos entrega la información de la actividad que el hombre está realizando, es decir, si se acerca a la unidad es porque el hombre desempeña una actividad vigorosa, y si se tiene



un resultado menor y muy alejado a la unidad, se interpreta que el hombre se encuentra en reposo.

Las principales causas de disminución del oxígeno en el aire de mina son:

- Proceso de oxidación lenta de la materia orgánica (madera de mina, combustibles, roca).
- Desprendimiento de gases por los carbones y las rocas.
- Explosiones de grisú y de polvo.
- Incendios.
- Respiración de las personas.
- Combustión de las lámparas y motores.

La disminución del O_2 hasta un 17% provoca *disnea* y *palpitación*. El descenso por debajo del 14 – 12 % puede provocar la muerte. Los reglamentos de algunos países fijan el contenido mínimo de O_2 en las labores activas en 19,5 – 20 %.

Para el control del O_2 en el aire de mina, se pueden utilizar monitores detectores de multigases, basados en el estándar de la industria. Los detectores poseen sensores electroquímicos que sirven para medir gases tóxicos y porcentaje de oxígeno, combinan la detección fiable y alarmas audibles, intermitentes, vibrantes, para dar aviso en caso de que el valor esté fuera de lo admisible según su calibración.

Legislación:

De acuerdo con el "**Reglamento de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera**" **Decreto 249/2007**, el contenido de oxígeno, en las labores que están en operación, no debe ser inferior al 19%.

El monóxido de carbono (CO)

Es un gas incoloro, sin olor ni gusto, su peso específico con relación al aire es de 0.97. Es originado durante los trabajos con explosivos, incendios subterráneos, explosiones de metano, polvos de carbón y también es un componente de las emisiones de escape de motores de combustión. Cuando el aire contiene de 13 a 75% de monóxido de carbono (CO), se forma una mezcla susceptible de hacer explosión a una temperatura de encendido de 630 a 810°C.

El monóxido de carbono es la causa más frecuente de intoxicaciones. Su acción tóxica sobre el organismo humano, se explica por el hecho de que el CO se combina con la hemoglobina de la sangre 300 veces más rápido que el oxígeno, formándose un compuesto llamado carboxihemoglobina, que anula la capacidad de la sangre de absorber el oxígeno y transmitirlo a los tejidos. Se acumula en los topes ciegos de las labores mineras ascendentes: chimeneas, cruceros, etc.



El trabajo prolongado de las personas en atmósfera que contiene 0,01% de CO, provoca una enfermedad crónica grave.

El contenido de 0,4 % de CO en la atmósfera se considera mortalmente peligroso, y el contenido del 1% de CO provoca en 1 o 2 minutos la muerte.

El único método para salvar a una persona caída en síncope por CO, consiste llevarla cuanto antes al aire puro y aplicarle respiración artificial con oxígeno puro, o 5 – 10 % de CO₂. En casos muy graves se colocan inyecciones intravenosas o subcutáneas.

El óxido de carbono se forma en las minas durante las voladuras, los incendios subterráneos, explosiones de grisú y particularmente de polvo de carbono, con la combustión de motores mal regulados.

La cantidad de CO que se forma durante las voladuras, depende de muchos factores: de la composición del explosivo, del método de voladura, si la explosión es completa, del medio en que se realiza la misma.

Este gas puede ser detectado en el aire por diversos métodos: análisis químico de la muestra del aire minero, indicadores colorímetros e indicadores térmicos. Entre los reactivos que se usan en minería para la determinación de CO están: el cloruro de paladio PdCl₂ y el pentóxido de yodo. Actualmente, como en el caso del oxígeno, se pueden utilizar monitores detectores de multigases

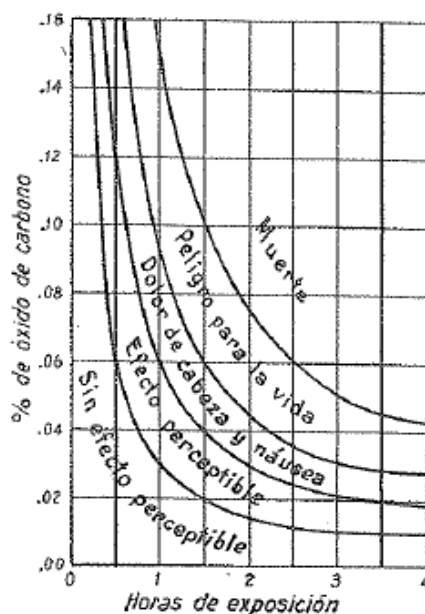


Figura 5: Efecto del Oxido de Carbono sobre las personas¹⁴

¹⁴ Ventilación de Minas. Alejandro Novitzky (1962) – Parte I. Capítulo 1



2.5.3.3. Legislación

Con el objetivo de mantener una atmósfera en el interior de mina, dentro de niveles permisibles para la salud del trabajador, la concentración de gases no debe superar ciertos límites permisibles, la cual además es exigida por el reglamento de seguridad e higiene nacional. Sin embargo, el valor límite permisible de la concentración de algunos gases, como monóxido de carbono, puede variar respecto a las exigencias en los reglamentos de seguridad e higiene regionales:

1- El reglamento nacional de “**Higiene y Seguridad en el Trabajo**”. **Resolución 295/2003**.- estipula como *concentración máxima permisible ponderada en el tiempo (CMP) de monóxido de carbono (CO) igual 25 ppm*.

2- El “**Reglamento Chileno de Seguridad Minera**” **Decreto Supremo N° 132, Artículo 135**, referente a monóxido de carbono:

La operación de los equipos diésel en el interior de la mina, se deberá detener al presentarse cualquiera de las siguientes condiciones:

- a. *Cuando las concentraciones ambientales con relación a los contaminantes químicos, en cualquier lugar donde esté trabajando la máquina, exceda de **40 ppm de Monóxido de Carbono**.*
- b. *Cuando la concentración de gases, medidos en el escape de la máquina, excedan de 2,000 ppm de monóxido de carbono.*

3- El “**Reglamento Peruano de Seguridad y Salud Ocupacional**” y *otras medidas complementarias en minería. Decreto Supremo N° 055-2010-EM Artículo 104*, referente a monóxido de carbono:

En las minas subterráneas convencionales o donde operan equipos con motores diésel, deberá adoptarse las siguientes medidas de seguridad:

- a. *Deben estar provistos y diseñados para asegurar que las concentraciones de emisión de gases al ambiente de trabajo, sean las mínimas posibles, y la exposición se encuentre siempre por debajo del límite de exposición ocupacional (Denominado Media Moderada en el Tiempo de Monóxido de Carbono igual a **25 ppm**).*
- b. *Monitorear y registrar diariamente las concentraciones de monóxido de carbono en el escape de las máquinas operando en el interior de la mina, las que se deben encontrar por debajo de 500 ppm de CO.*
- c. *Las operaciones de las máquinas diésel se suspenderán, prohibiendo su ingreso a labores de mina subterránea:*
 - i. *Cuando las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en el ambiente de trabajo, estén por encima del límite de exposición ocupacional para agentes químicos (Denominado Media Moderada en el Tiempo para el Monóxido de Carbono igual a **25 ppm**).*



- II. *Cuando la emisión de gases por el escape de dicha máquina exceda de quinientos (500) ppm de monóxido de carbono y de vapores nitrosos, medidos en las labores subterráneas.*

Nitrógeno (N₂)

Este gas es incoloro, insípido e inodoro; de peso específico 0,97; químicamente inerte. No es necesaria para la respiración ni la combustión. No es nocivo, pero el aumento de su contenido en el aire de minas es perjudicial para el hombre, por ser la causa de una gran disminución del oxígeno.

El aumento del nitrógeno en el aire de minas es debido a: putrefacción de materia orgánica y trabajo con explosivos.

Dióxido de Carbono (CO₂)

Es un gas sin color y olor, con un sabor ligeramente ácido, 1,53 es su peso específico; es soluble en agua. Es inofensivo para las personas hasta un 0,5 %; con un 3 % de este gas la lámpara empieza a apagarse y la frecuencia de la respiración aumenta; con un 5 % la lámpara se apaga y la respiración se triplica; con 10%, puede producir estado de coma y con 20 – 25 %, la muerte en algunos segundos. En pequeñas cantidades estimula la respiración.

Los mineros experimentados reconocen la presencia de CO₂ por la dificultad de la respiración, el calentamiento de las piernas y de la piel que se enrojece; por dolor de cabeza y decaimiento general.

El anhídrido carbónico se forma por las hulleras subterráneas durante la putrefacción de la madera de mina, oxidación lenta del carbono, descomposición de rocas carbonatadas por la acción de las aguas ácidas, explosiones de grisú y polvo de carbón, incendios subterráneos, trabajos con explosivos, respiración de las personas, combustión de motores, etc.

Los reglamentos de seguridad fijan el contenido máximo de CO₂, para lugares de trabajo donde no debe superar el 0,5 % (según volumen) y en corrientes de aire saliente el 0,75 %.

El anhídrido carbónico es 1.5 veces más pesado que el aire, y por esto puede acumularse en el piso de las labores y en la parte inferior de las labores inclinadas.

Ácido sulfhídrico (H₂S)

Es un gas sin color, con fuerte olor a huevo podrido y gusto azucarado; su peso específico es de 1,19 y arde cuando su concentración alcanza 6 % y forma mezcla explosiva. Es muy soluble en agua.

Es fuertemente venenoso, irrita la mucosa de los ojos y de los conductos respiratorio y ataca el sistema nervioso, el envenenamiento se produce en media hora con el contenido de 0,05% de ácido sulfhídrico, y con 0,1 % rápidamente viene la muerte.



No obstante, a primera vista el H_2S es mucho más tóxico que el CO , dos de sus propiedades lo hacen menos peligroso, los accidentes con ácido sulfhídrico se presentan muy raramente. La primera es su olor característico, inmediatamente reconocible. La segunda, que la víctima retirada a tiempo se repone rápidamente al aire libre, sin conservar rastros de envenenamiento ni alteraciones en sangre.

Pero el sentido del olor no puede ser considerado como un medio de detección, ya que después de 1 a 2 inhalaciones los nervios olfativos se paralizan, y el olor del ácido no puede ser detectado.

En Argentina el ácido sulfhídrico se encuentra en gran cantidad en las minas de determinados minerales, como la asphaltita. Las fuentes de formación de ácido sulfhídrico son: putrefacción de materia orgánica, descomposición de minerales, desprendimiento de las grietas (minas de sal, de asphaltita, etc.), detonación de barrenos (particularmente con combustión incompleta del explosivo, mecha, etc.); a veces acompaña al metano. Como indicador ácido sulfhídrico puede utilizarse el papel impregnado en acetato de plomo, que ennegrece con las menores trazas de éste gas.

Óxido de nitrógeno

Este gas se forma en las minas en trabajo con explosivos, particularmente en explosiones incompletas de dinamitas. También son componentes de los gases de escapes de máquinas diésel y gasolina. La composición de óxido de nitrógeno depende de las condiciones de su formación, temperatura y humedad.

Los vapores de óxido de nitrógeno son muy tóxicos. Estos se disuelven en la humedad de los pulmones, formando ácido nítrico y nitroso, que corroen las vías respiratorias, y la respiración de cantidades pequeñas pueden provocar la muerte. Una particularidad muy engañosa de acción del ácido de nitrógeno sobre los pulmones humanos, es que la intoxicación aparece después de cierto tiempo.

Como indicador de óxido de nitrógeno, puede servir el papel humedecido con soluciones de almidón y yoduro de potasio, que se colorea en azul con la presencia en el aire de este óxido.

Gas de compresores

Forman parte de este gas CO , CH_4 . Se forman en compresores por descomposición del aceite lubricante y llegan con el aire comprimido a los frentes de trabajos, y amenazan con la muerte a los mineros.

Las medidas de precaución contra la contaminación del aire comprimido son:

- Utilizar como lubricante únicamente aceites minerales con alto punto de inflamación.
- Control del sistema de refrigeración.



- Purgar los recipientes de compresores de los aceites acumulados en cada parada del compresor.

Hidrógeno H₂

Gas sin olor, ni sabor, es muy liviano, de peso específico 0,07; fisiológicamente inocuo, más inflamable que el grisú. El hidrógeno acompaña en las hulleras al CH₄.

Vapor de mercurio

Excesivamente pesado, se elimina únicamente por intensa ventilación. El polvo de cinabrio, igualmente, es un vehículo peligroso de mercurio. La permanencia en minas de mercurio es particularmente insalubre. Conviene alternar para los mineros el trabajo subterráneo con el de agricultura, lo que no siempre es de agrado para los mineros.

Radón

En ciertos filones metalíferos, particularmente en las minas de uranio, por transformación del uranio en plomo, formándose así este gas muy radiactivo. Este gas se mueve con el aire y se acumula con frecuencia en el techo, particularmente cerca de los afloramientos. Su respiración duradera provoca una enfermedad conocida como enfermedad de mineros de *Schneeberg*, una especie de cáncer de los pulmones muy temible. El reconocimiento de radón se hace con contadores Geiger, bien conocidos. El minero puede ser protegido de radón solo por una buena ventilación.

Tetracloruro de silicio SiCl₄

Es otro gas que puede encontrarse en las minas metalíferas, sobre todo en los cuerpos plutónicos jóvenes, ricos en pegmatitas. Su acción es muy nefasta, ya que acelera el mal por silicosis, si la ventilación es insuficiente.

Metano CH₄

Es unas de las impurezas más peligrosas en la atmósfera de minas, por su propiedad de formar mezclas explosivas con el aire. Las explosiones de metano han sido la causa de muerte en masa de centenares de los mineros a la vez.

Debido a su poca reactividad química a temperatura normal, queda hasta ahora como única medida práctica para su eliminación, una muy buena ventilación.



2.5.4. Motores Diésel

Los motores diésel son considerados fiables, robustos y relativamente fáciles de mantener, y particularmente eficaces con cargas parciales.

Las emisiones de escape diésel (DEE)

La producción y las concentraciones de gases en DEE dependen de:

- Tipo de motor y el fabricante
- La velocidad del motor
- El ajuste del motor y mantenimiento
- La carga de trabajo del motor
- Tipo de combustible.

Debido a estas variables es extremadamente difícil proporcionar valores absolutos de la cantidad y la concentración de gases de DEE.

Los combustibles diésel consisten principalmente de carbono (84.5%) y de hidrógeno (15%), con una pequeña cantidad de azufre (0.5%). Típicamente los combustibles diésel contienen dos átomos de hidrógeno por cada átomo de carbono, y por lo tanto pueden ser representados como $C_{12}H_{24}$. La combustión completa de 1 kg de combustible diésel daría lugar a dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O) y dióxido de azufre (SO_2), en las siguientes proporciones:

- 3,10 kg de CO_2
- 1,35 kg de H_2O
- 0,01 kg de SO_2 .

Un total de 4,46 kg de gas.

Para la combustión completa la cantidad de oxígeno requerido es de $4,46 - 1,00 = 3,46$ kg, y como el aire estándar contiene 23.15%, de oxígeno en masa, el aire necesario para la combustión completa es:

$$\frac{3,46}{0,2315} = 14,95 \text{ kg}$$

En otras palabras, la relación de combustible y aire es de 1: 14,95, o, alternativamente, cada 0,0669 kg de combustible requiere 1,0 kg de aire para la combustión completa. Las relaciones de combustible para 1,0 kg de aire, en condiciones normales, son 0,01 kg y 0,05 kg en vacío, y a toda velocidad hasta un máximo de 0,06 kg.

En realidad, los motores diésel nunca operan con una eficiencia del 100%, rara vez a plena carga, y en consecuencia nunca se logra la combustión completa. Los productos de esta combustión incompleta son el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (incluyendo aldehídos) - (HC), carbono (hollín definido como el material particulado diésel) - (DPM), óxidos de nitrógeno (NOX), incluyendo óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2). Otras sustancias tóxicas como los hidrocarburos poliaromáticos (PAH), también se encuentran tanto



en el componente HC y DPM de las DEE. Las concentraciones de gases en DEE, están directamente relacionadas con la cantidad de combustible utilizado.

El consumo de combustible se relaciona con el trabajo de carga en el motor, es decir, cuanto mayor sea la carga, mayor es el consumo de combustible. El consumo máximo de combustible se logra cuando el motor está funcionando con el "torque bloqueado", por lo tanto, las concentraciones y los niveles de emisión de gases en las DEE son máximos. En el caso de equipos de minería, esto se da cuando una unidad de LHD realiza operaciones de carga y descarga, y cuando un camión se transporta a plena carga por una pendiente.

Partículas diésel

El Material particulado diésel (*DPM*), son las partículas de hollín emitidas por el escape del motor diésel, siendo su tamaño casi totalmente dentro del rango respirable. Las partículas contienen cientos de compuestos adsorbidos, algunos de los cuales se sabe que son cancerígenos. Se cree que el *DPM* es un "carcinógeno potencial", pero no hay evidencia sobre este asunto actualmente disponible y, en consecuencia, el tema sigue siendo algo controvertido.

Concentración Máxima Permisible

- La **Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH)** ha propuesto un estándar de exposición general de Partículas Diésel (DP), de 0.15 mg/m^3 .
- La **Ley Nacional sobre higiene y seguridad en el trabajo; en la resolución 295/2003** hace referencia a un tipo de partículas (insolubles), no especificadas de otra forma (PNEOF), definiéndolas como:
Aquellas que no tienen amianto y menos del 1% de sílice cristalina. Para reconocer los efectos adversos de la exposición a esta materia particulada no tóxica, se establecen y se incluyen en la lista de los valores límites umbrales adoptados, una CMP de 10 mg/m^3 para las partículas inhalables y de 3 mg/m^3 para las respirables.



CAPITULO 3

SISTEMAS DE VENTILACIÓN

3.1. Métodos de Ventilación

3.1.1. Ventilación Natural¹⁵

La energía más barata y abundante en la naturaleza es el aire natural, que se utiliza en la ventilación para minas subterráneas.

Este aire se introduce por la bocamina principal de ingreso, recorriendo su flujo por la totalidad del circuito de ventilación, hasta la salida por la otra bocamina.

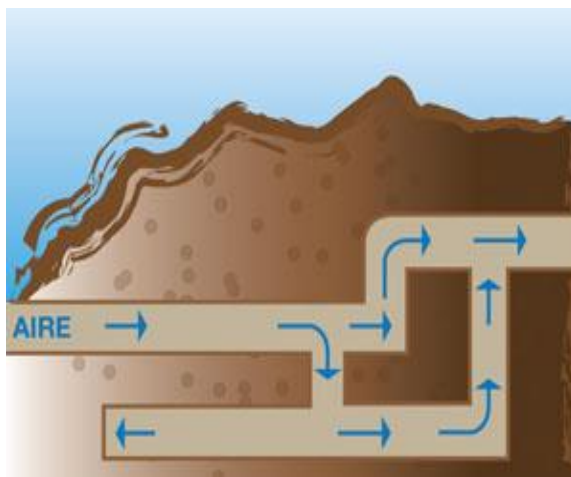


Figura 6: Ventilación natural

Para que funcione la ventilación natural, tiene que existir una diferencia de alturas entre las bocaminas de entrada y salida. En realidad, más importante que la profundidad de la mina es el intercambio termodinámico que se produce entre la superficie y el interior. La energía térmica agregada al sistema se transforma a energía de presión, susceptible de producir un flujo de aire (el aire caliente desplaza al aire frío produciendo circulación).

La ventilación natural es muy cambiante, depende de la época del año, incluso, en algunos casos, de la noche y el día.

El movimiento de aire en una mina subterránea es originado por la diferencia de las presiones, existentes entre dos puntos.

Se designa la profundidad de los piques por H y el peso específico del aire de los piques A y B respectivamente por Y_1 y Y_2 .

¹⁵ Guía Metodológica de Seguridad para Ventilación de Minas, SERNAGEOMIN, Chile.



El aire en el punto C sufrirá una presión:

$$P_1 = H \cdot Y_1$$

Y en el punto D:

$$P_2 = H \cdot Y_2$$

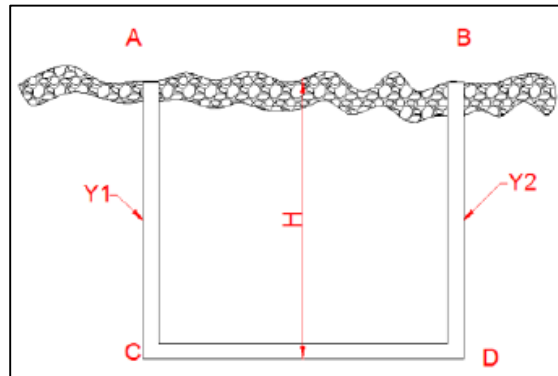


Figura 7: Esquema de labores de la mina¹⁶

A igual profundidad de los dos piques e igual peso volumétrico del aire ($Y_1 = Y_2$), el aire presente en las labores permanecerá inmóvil. Si se origina en el pique B una depresión, Y_2 será menor que Y_1 , y la diferencia de presiones h en los piques A y B será:

$$h = P_1 - P_2 = H \cdot (Y_1 - Y_2)$$

Originándose en este caso un movimiento de aire desde el punto C hacia el punto D.

La magnitud de esta diferencia de presión, denominada *depresión* en ventilación, representa sólo unas centésimas de la presión atmosférica. Cuanto mayor sea la diferencia de las presiones entre dos secciones del flujo aéreo, mayor será la velocidad de la corriente de aire.

El tiro natural, es originado por la diferencia de las temperaturas entre el aire atmosférico y el de la mina, las que condicionan los pesos específicos diferentes del aire.

En el tiempo de invierno, la temperatura del aire exterior es más baja que el de interior de mina, debido a lo cual la densidad es mayor en la superficie y menor en las labores subterráneas. En esas condiciones, el peso de la columna de aire exterior H , al ser destapado el yacimiento por medio de un socavón, será superior al de la columna de aire de la mina, originándose un tiro natural dirigido desde la boca mina hacia la superficie a través del pique.

¹⁶ Tesis “Estudio y análisis de ventilación en una mina subterránea”. Ing. Zurita.



3.1.2. Ventilación Auxiliar¹⁵

Como ventilación auxiliar o secundaria, definimos aquellos sistemas que, haciendo uso de ductos y ventiladores auxiliares, ventilan áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación del aire viciado que les proporciona el *sistema de ventilación general*.

La ventilación secundaria, se refiere a los sistemas que son usados para suministrar aire a los frentes de trabajo de las labores ciegas (generalmente en galerías de desarrollo). Idealmente, los sistemas auxiliares no deben tener ningún impacto en la distribución de los flujos de aire en toda la principal infraestructura de ventilación, permitiendo que la auxiliar sea planificada de manera independiente a la red principal de la mina.

Los sistemas de ventilación auxiliar que pueden utilizarse son:

- **Sistema aspirante:** El aire fresco ingresa al frente por la galería y el contaminado es extraído por ductos de ventilación.

Para ventilar desarrollos de túneles desde la superficie, es el sistema aspirante el preferido para su ventilación, aun cuando se requieren elementos auxiliares para remover el aire de la zona muerta, comprendida entre el frente y el extremo del ducto de aspiración.



Figura 8: Sistema aspirante

- **Sistema impelente:** El aire es impulsado dentro del ducto y sale por la galería en desarrollo ya viciado.

Para **galerías horizontales de poca longitud y sección** (menores a 400 metros y de 3,5 x 3,5 metros de sección), lo conveniente es usar un sistema impelente de mediana o baja capacidad, dependiendo del equipo a utilizar en el desarrollo, y de la localización de la alimentación y evacuación de aire del circuito general de ventilación de la zona.

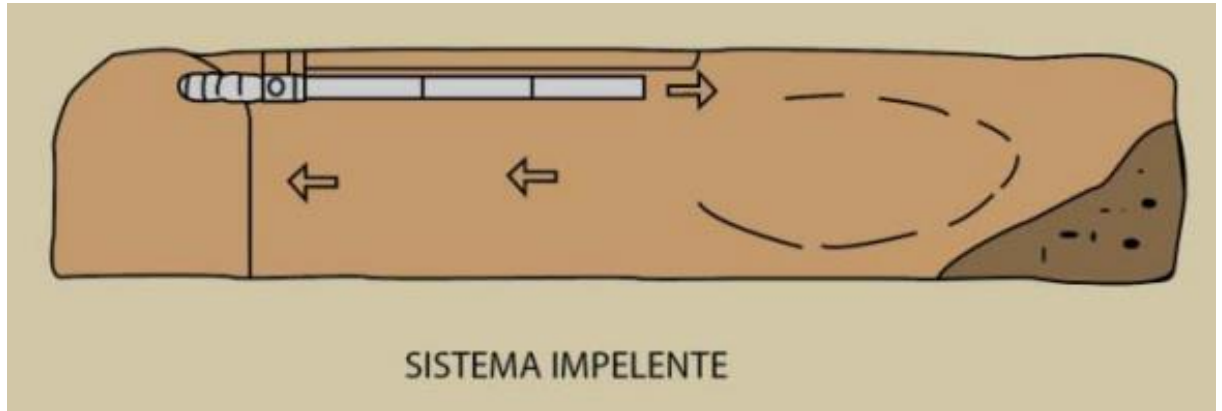


Figura 9: Sistema impulsante

- **Sistema combinado, aspirante-impulsante:** Emplea dos tendidos de ducto, una para extraer aire y el segundo para impulsar aire limpio del frente de avance.

Este sistema reúne las ventajas de los dos tipos básicos, en cuanto a mantener la galería y el frente en desarrollo, con una renovación constante de aire limpio y con la velocidad suficiente de extracción de los gases de las voladuras, con la desventaja de su mayor costo de instalación y mantenimiento.

Para galerías de mayor sección (mayor a 12 m²), y con una longitud sobre los 400 metros, el uso de un sistema aspirante o combinado, es más recomendable para mantener las galerías limpias y con buena visibilidad para el tráfico de vehículos, sobre todo si éste es equipo diésel. Hoy en día, es la ventilación impulsante la que más se usa, ya que el ducto es una manga totalmente flexible, fácil de trasladar, colocar y sacar. En este caso, el ventilador al soplar infla la manga y mueve el aire. En el caso de la ventilación aspirante, estas mangas deben tener un anillado en espiral rígido lo que las hace muy caras.

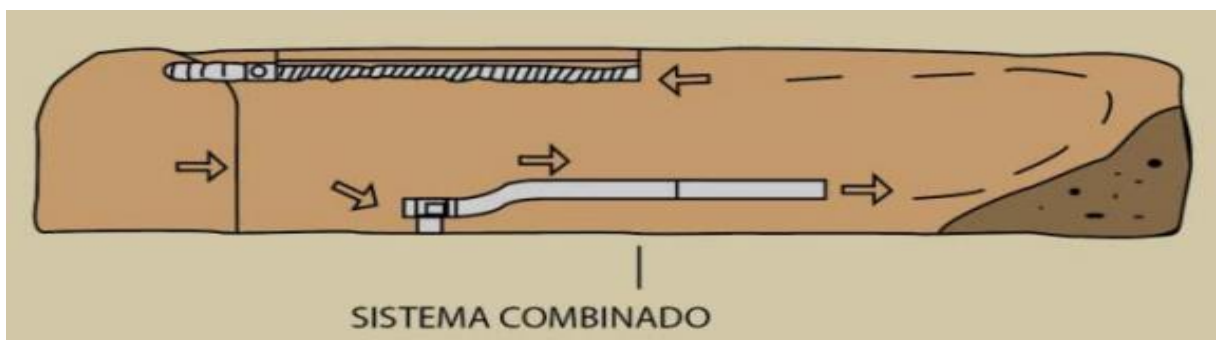


Figura 10: Sistema combinado.

Fugas en ductos flexibles: Valores de porcentajes en fugas consideradas aceptables para tendidos de ductos plásticos, fluctúan entre 30 y 40% de la capacidad del ventilador auxiliar.



Uso de aire comprimido: Por su alto costo, en relación a la ventilación mecanizada, el uso del aire comprimido para atender la aireación de desarrollos, debe limitarse exclusivamente a aquellas aplicaciones donde no es posible utilizar sistemas auxiliares, como es el caso particular del desarrollo manual de chimeneas o piques inclinados.

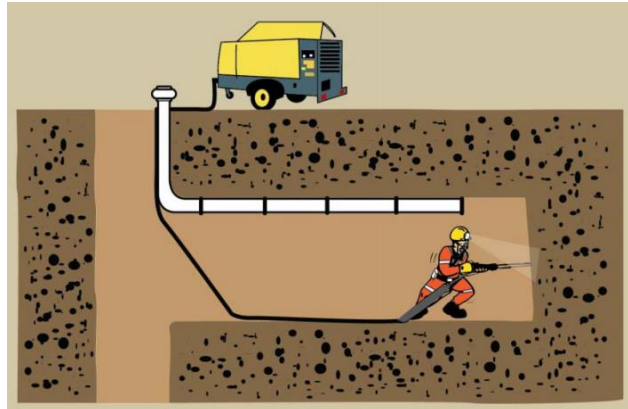


Figura 11: Uso de aire comprimido para ventilación.

3.2. Sistemas de Ventilación Generales

Teniendo en cuenta la ubicación y separación de las labores utilizadas para el ingreso del aire fresco, y la extracción del aire viciado, los sistemas de ventilación pueden clasificarse en dos tipos:

3.2.1. Sistema de Ventilación Central

Se utiliza cuando la separación entre las labores de ingreso y extracción de aire es pequeña, y éstas se encuentran ubicadas en el centro del área minera.

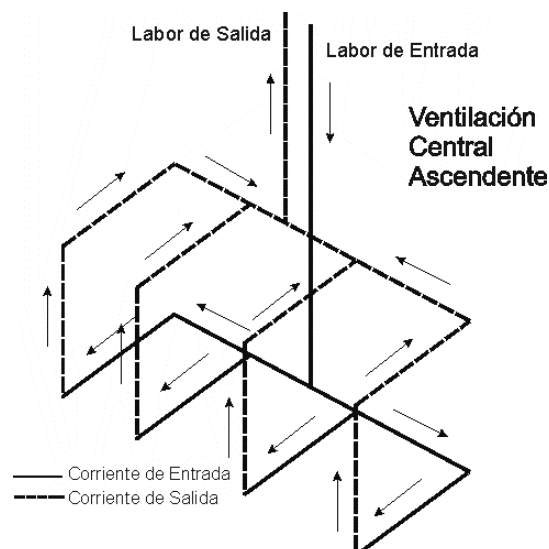


Figura 12: Ejemplo de un sistema de ventilación central



3.2.2. Sistema de Ventilación Diagonal

Se utiliza cuando la labor utilizada para el ingreso de aire fresco, se encuentra aproximadamente en el centro del área minera, y las de extracción del aire viciado en su periferia a una gran distancia de la primera.

La principal ventaja que presenta el sistema de ventilación central, es la de poder establecer rápidamente una corriente de aire a través del yacimiento.

Sin embargo, debido a que el aire debe desplazarse desde el centro del área minera hacia los frentes de explotación, y retornar nuevamente al centro del área, se producen grandes caídas de presión y considerables pérdidas de caudal de aire, las cuales se incrementan a medida que el yacimiento aumenta su extensión.

En el sistema de ventilación Diagonal, el movimiento del aire es más directo, ya que el aire viciado no debe regresar al centro del área minera después de pasar por los frentes de explotación, sino que abandona el yacimiento a través de las labores que se encuentran en la periferia de aquella.

Como desventaja principal, el sistema de ventilación Diagonal requiere mucho tiempo para establecer una corriente de aire a través de la mina.

Finalmente, debe mencionarse que independientemente del tipo de yacimiento considerado, en todos los casos la ventilación debe ser ascendente, entendiéndose por esto que el aire fresco debe ser llevado hasta el nivel más bajo de la mina, y desde allí ascender a través de las labores de explotación hacia la superficie. Con este sistema se logran los mejores resultados, por cuanto el aire viciado, por su mayor temperatura, tiende a ascender en forma natural.

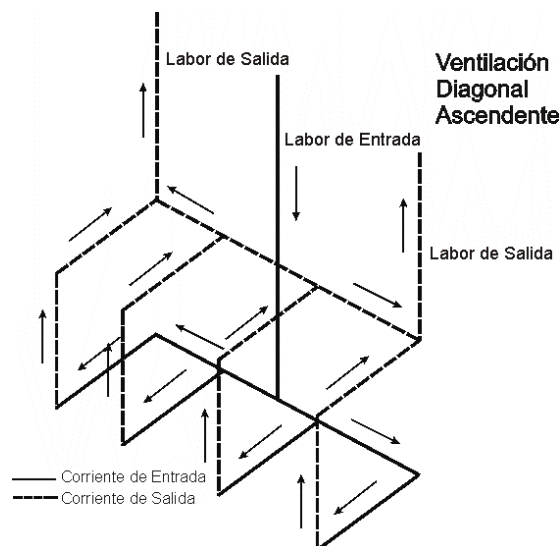


Figura 13: Ejemplo de un sistema de ventilación diagonal.



3.3. Circuitos de Ventilación Primaria

Los circuitos de ventilación primaria están diseñados para suministrar aire fresco a los lugares de trabajo, diluir y eliminar los contaminantes originados en el proceso minero. El tiempo requerido para eliminar los contaminantes producidos por las voladuras, puede variar desde unos pocos minutos hasta muchas horas.

La eliminación eficaz y oportuna de los contaminantes sobre todo después de la voladura, es una prioridad para supervisores de mina, al igual que el tiempo perdido en la producción debido a la espera de la dilución de humos.

Hay dos circuitos básicos utilizados:

- 1- Los circuitos paralelos, y
- 2- Los circuitos en serie.

Ambos tienen sus ventajas y desventajas, y muchas minas utilizan una combinación de ambos tipos de circuitos.

De acuerdo a la distribución del flujo de aire en el circuito de ventilación se pueden presentar los siguientes casos:

Recirculación

La recirculación se produce cuando se mantiene aire dentro de un circuito cerrado. No se debe confundir con la situación cuando se reutiliza aire, como en los circuitos de ventilación en serie. La recirculación se produce cuando, un ventilador secundario instalado en una vía de ventilación en la que fluye aire a lo largo de la vía de ventilación, es menor que la capacidad de funcionamiento del ventilador.

Como regla general, se requiere un flujo de aire de al menos 1,5 veces la capacidad de circuito abierto del ventilador, en las vías de ventilación con grandes secciones transversales y ventiladores de mayor capacidad. Aun así, existirá una menor recirculación que dependerá de la configuración del ventilador en la vía de ventilación.

Aunque no se recomienda, que haya baja recirculación puede ser aceptable siempre y cuando la temperatura del lugar de trabajo, los contaminantes en el flujo de aire, y el tiempo de eliminación de los gases de voladuras, se mantengan dentro de los niveles aceptables.

Cortocircuito

Es el movimiento del aire del circuito entrante, o directamente de la atmósfera al circuito saliente, sin pasar por el circuito básico. Los efectos del cortocircuito son indeseables:

- La cantidad de aire en el circuito de ventilación disminuye notablemente.
- La velocidad del cortocircuito sobrepasa los valores admisibles.
- El caudal del ventilador aumenta, con peligro a quemarlo.



3.3.1. Localización de los Ventiladores Principales

En la mayoría de las minas del mundo, los ventiladores principales están situados en la superficie. En el caso de las minas de carbón, esto puede ser un requisito obligatorio. La ubicación en la superficie facilita la instalación, pruebas, acceso y mantenimiento, permitiendo al mismo tiempo una mejor protección del ventilador durante una situación de emergencia.

El emplazamiento subterráneo de los ventiladores principales, puede ser considerado por el ruido que produce; de hacerlo es en casos que, en la superficie, o cuando los piques o chimeneas deben estar disponibles para el pasaje de mineral, y por lo tanto liberados de grandes flujos de aire. Un problema asociado con los ventiladores principales subterráneos surge debido las puertas adicionales a realizar en interior de mina para direccionar los flujos de aire y vías de fuga que existen en el interior de las redes de ventilación subterráneo.

3.4. Fundamentos del Análisis de los Circuitos de Ventilación

Cualquier sistema de ventilación integrado puede ser representado como un diagrama esquemático, en el que cada línea (rama) denota, ya sea, un solo conducto de ventilación, o un grupo de aberturas que están conectadas de tal manera que se comportan eficazmente como un solo conducto de ventilación (resistencias equivalentes). Sólo aquellos conductos de ventilación, que contribuyen al flujo de aire a través del sistema, aparecen en el esquema de la red. Los puntos en los que se conectan las ramas son conocidos simplemente como uniones o nodos.

Leyes de Kirchhoff

Son aplicables a las redes de fluidos, incluyendo los sistemas de ventilación cerrados en estado de equilibrio.

Primera ley de Kirchhoff; establece que la suma de todos los volúmenes que ingresan a una unión o nodo, es igual a los volúmenes que salen de esta unión.

Segunda ley de Kirchhoff; aplicada a la ventilación de redes, establece que, la suma algebraica de todas las caídas o pérdidas de presión alrededor de cualquier red o circuito cerrado de ventilación, debe ser igual a cero.

Las *Leyes de Kirchhoff* se pueden aplicar a redes de fluidos que conducen fluidos, ya sean compresibles o incompresibles.



3.4.1. Resolución de Circuitos de ventilación¹⁷

Los yacimientos pueden considerarse como circuitos complejos, que generalmente presentan enlaces en tres dimensiones y cuya resolución se complica por la presencia de fugas, labores abandonadas, grietas, etc.

Resolver un circuito de ventilación correspondiente a un yacimiento, implica determinar los caudales de aire que circularán por cada una de las labores de la mina y la caída de presión que esto ocasionará.

Cualquiera sea el método de explotación usado en un yacimiento, se puede emplear cualquiera de las siguientes técnicas de cálculo para resolver el circuito de ventilación de una mina:

- Resolución algebraica de redes sencillas.
- Resolución gráfica de redes sencillas.
- Resolución de redes complejas sin preordenar.
- Resolución de redes complejas preordenadas.

Resolución algebraica de redes sencillas

Esta técnica puede emplearse en yacimientos cuyas redes de ventilación no se encuentren muy desarrolladas, o que se encuentre en las primeras etapas de explotación. El método de cálculo se basa en la analogía que presentan las redes de ventilación con las redes eléctricas, y consiste en dividir a las labores de la mina en circuitos en serie o en circuitos en paralelo.

Se considera que varias labores forman un *circuito en serie*, cuando la corriente de aire circula a través de ellas sin producirse pérdidas o derivaciones.

En los *circuitos en paralelo*, la corriente de aire sufre una bifurcación en corrientes parciales a medida que avanza por las labores que lo forman.

- **Circuitos en serie**

En los circuitos en serie, el caudal de aire es el mismo a través de todas las labores que lo constituyen:

$$Q = q_1 = q_2 = q_3 = \dots q_n$$

Las pérdidas de cargas o caídas de presión se suman:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + \dots = \sum h$$

¹⁷ Ventilación de Minas Subterráneas. Capacitación para trabajadores mineros Cerro Chico – Base Rey 2007



Con estas premisas y la ecuación fundamental de la ventilación de minas, tendremos:

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

Como $H = R * Q^2$

$$R * Q^2 = R_1 * Q_1^2 + R_2 * Q_2^2 + \dots + R_n * Q_n^2$$

Y siendo $Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$

Entonces,

$$R = r_1 + r_2 + r_3 + \dots = \sum r$$

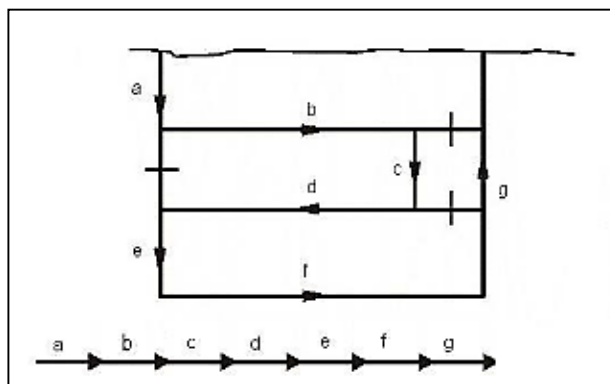


Figura 14: Circuito en serie

- **Circuito en paralelo**

En los circuitos en paralelo, la caída de presión o pérdidas de carga, es la misma en todas las labores que forman el circuito, por lo que tendremos:

$$H = h_1 = h_2 = h_3 = \dots h_n$$

El caudal total del sistema de galerías en paralelo, es igual a la suma de los caudales parciales:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots = \sum q$$

Con estas premisas, y la ecuación fundamental de la ventilación de minas, tendremos que, la raíz cuadrada del valor recíproco de la resistencia aerodinámica del circuito, es igual a la suma de las raíces cuadradas de los valores recíprocos de las resistencias aerodinámicas parciales:

$$\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{r_1}} + \frac{1}{\sqrt{r_2}} + \frac{1}{\sqrt{r_3}} + \dots = \sum \frac{1}{\sqrt{r}}$$



O también:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{R_2}{R_1}}$$

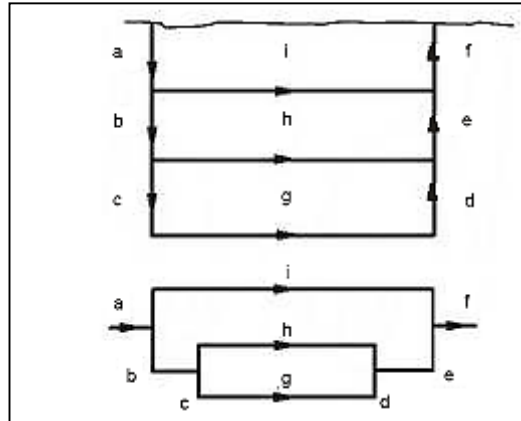


Figura 15: Circuito en paralelo

Resolución Grafica de redes sencillas

Es una técnica poco utilizada que se caracteriza por resultar sencilla y rápida. El principal inconveniente que presenta es su reducida precisión, lo que limita su utilización en casos muy simples. El método consiste en combinar gráficamente las curvas características de las distintas ramas que constituyen el circuito de ventilación, hasta obtener la curva correspondiente al yacimiento.

Resolución de redes complejas sin preordenar

Son las compuestas por varios grupos de circuitos de ventilación superpuestas, o interconectadas, ya que se extienden espacialmente. Cuando en este tipo de redes no existe un pre ordenamiento en la circulación del aire, el cálculo exacto es imposible. En estos casos puede utilizarse para resolver el circuito, un método de aproximación sucesiva basado en las leyes de Kirchoff denominado Hardy Cross. Este método de cálculo se basa en la teoría de las redes de mallas, según la cual en cualquier red se pueden distinguir los elementos siguientes:

- Nodos:** son el punto donde se reúnen más de tres labores por las cuales circula el aire.
- Ramas:** son las galerías o conductos que unen dos nodos.
- Mallas:** son un conjunto cerrado de circuitos atravesados por la corriente de aire de la red.

Se parte de los supuestos siguientes:

- En cada nodo $\sum Q = 0$
- En cada malla $\sum h = 0$
- En cada malla pasiva (sin ventilador): $H = R * Q^2$



- En cada rama activa (con ventilador): $H = R * Q^2 - f(Q)$

Además, si N_m es el número de mallas de la red, N_n el de nodos y N_r el de ramas, tendremos:

$$N_m = N_r - N_n + 1$$

En la teoría del método Hardy Cross, se puede demostrar que pueden elegirse N_m mallas que cumplan con las siguientes condiciones:

- 1- Representen toda la red, es decir, que todas las ramas del circuito figuren al menos una vez en la malla.
- 2- Son independientes, o sea, no son combinación de las demás mallas.

Este conjunto de mallas forma la base de malla de la red, llamada base de mallas directrices, y que tienen las siguientes propiedades:

- Cada rama pertenece a una sola malla.
- Estas ramas son independientes, si se suprime, sigue la red unida sin interrumpirse.

Las incógnitas son los caudales de aire y las pérdidas de carga de cada rama, o sea $2 N_r$. Como el número de ecuaciones es igual, el problema es determinado, pero en redes complejas la resolución es larga y engorrosa.

La solución del problema por aproximaciones sucesivas sigue el proceso siguiente:

- Se supone una distribución de la corriente, caudal total y dirección lo más lógico posible para reducir las correcciones. Para el caso de la figura que sigue, tendremos:

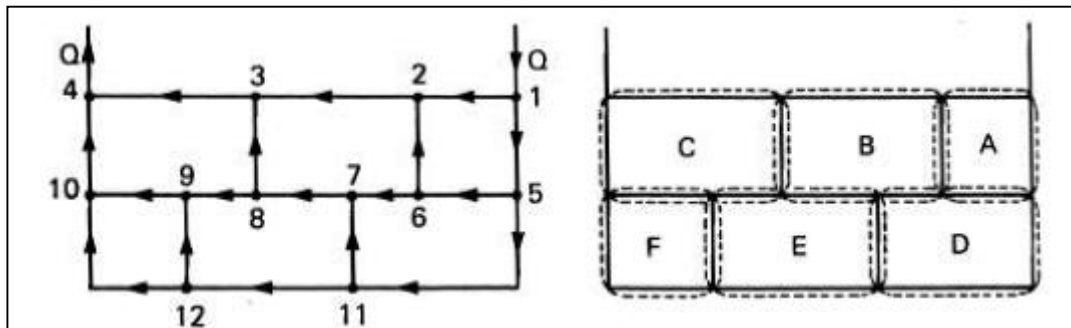


Figura 16: Ejemplo de distribución de corriente de aire

- Se calcula la depresión en cada rama mediante la fórmula $H = R * Q^2$.
- Se calcula la depresión total mediante la fórmula $\sum H = \sum R * Q^2$.
- Calculamos en cada malla la suma de productos $2 * Q * R$ sin considerar el signo, y con ella calculamos el valor de corrección de la corriente para cada malla mediante la fórmula de Newton:

$$x = \frac{\sum R * Q^2}{\sum 2 * Q * R}$$



- Se suma algebraicamente la corrección calculada a la corriente original en cada malla a la rama que pertenece.
- Repetir el tanteo de dos o seis veces, hasta llegar al grado de aproximación deseado (bastan tres reiteraciones).

Con solo las leyes de Kirchoff, la solución exacta queda limitada al caso máximo de tres mallas con cálculo algebraico. Con tanteos sucesivos se puede llegar a veinte mallas.

Solución de redes complejas preordenadas

Si se trata de una ventilación pre ordenada, el problema se simplifica tanto en redes sencillas como en complejas. En este caso se conocen los caudales y direcciones de la corriente de aire en cada circuito, ya que los fijamos como condición previa, y hay que determinar el caudal total de la mina, las pérdidas de carga, la situación y tipo de puertas de regulación que puedan necesitarse.

El primer paso para la resolución del circuito es reducir la red de la mina a un esquema simplificado, debiendo posteriormente seguir las siguientes etapas:

- a. Indicar en el esquema de la mina el caudal Q de cada rama.
- b. Calcular las pérdidas de carga H para cada recorrido en serie y marcarlos en el esquema.
- c. Sustituir en el esquema, planta por planta, los circuitos paralelos por el equivalente en serie, calculando los caudales y depresiones por las fórmulas conocidas. Calcular las regulaciones necesarias, sabiendo que la rama de mayor resistencia fija la del conjunto.
- d. Sustituir las plantas en paralelo por el circuito equivalente, y así estando todo reducido a serie, se suman las pérdidas de carga y el caudal total será el acumulado.

Finalmente, para resumir, podemos clasificar a los métodos de cálculo utilizados para la resolución de circuitos de ventilación, en los siguientes tres tipos:

- *Métodos puramente matemáticos*: caracterizados por la resolución numérica de las ecuaciones, para lo que pueden emplearse en los casos complicados en las computadoras. El método de este tipo más conocido es el de Hardy- Cross ya indicado.
- *Métodos puramente analógicos*: en ellos se produce la red de ventilación en un modelo en el que se efectúan lecturas y medidas físicas, que dan directamente los valores buscados sin realizar ningún cálculo. La más conocida es la analogía eléctrica, que utiliza la semejanza de las leyes de las redes de ventilación y las eléctricas de Kirchoff, de modo que el caudal Q se corresponde con la Intensidad y la depresión H con el Voltaje. La ecuación que la liga es $H = R * Q^2$ en la ventilación, y así $V = R * I^2$. También se ha empleado la analogía neumática, pero es más rara su utilización.
- *Finalmente pueden utilizarse métodos Mixtos*: en los que realizan lecturas en los analizadores analógicos, con cálculos intercalados, y así las medidas se corrigen por aproximaciones sucesivas.



3.5. La ecuación de Atkinson y la Ley del Cuadrado¹⁸

3.5.1. Flujo Laminar y Turbulento

El movimiento lento del aire, que se compone de hilos separados que no se mezclan entre sí y se mueven paralelamente, se denomina *laminar*. Si la velocidad del aire aumenta, los hilos comienzan a mezclarse entre sí, formando torbellinos, denominado *turbulento*.

El movimiento laminar se representa en las minas rara vez, por ejemplo, durante el movimiento del aire a través del relleno compacto. En casi todas las labores mineras en que la velocidad del aire sobrepasa algunos centímetros por segundo, su movimiento es turbulento.

La siguiente ecuación se conoce universalmente como Número de Reynolds (adimensional):

$$Re = \rho \frac{vL}{M}$$

Donde:

ρ = Densidad

v = Velocidad característica

L = Longitud característica

M = Constante de proporcionalidad (usualmente denominada viscosidad dinámica).

En ventilación subterránea, la longitud característica normalmente es el diámetro medio del ducto de ventilación (d), y la velocidad característica usualmente es la velocidad media del flujo del aire. Entonces:

$$Re = \rho \frac{vd}{M}$$

Cuando el número de Reynolds es menor a 2.000, las fuerzas de viscosidad prevalecen y el flujo se vuelve laminar. No se encuentra bien definido el Número de Reynolds en el cual se desarrolla una turbulencia total. La turbulencia comienza a ocurrir con un Número de Reynolds de 2.500 – 3.000, asistida por cualquier tipo de vibración, rugosidad en las paredes de las tuberías, o todo tipo de perturbación momentánea en el flujo.

En las labores mineras, el régimen turbulento completo se hace con $Re > 50.000$.

¹⁸ Ventilación de Minas. Alejandro Novitzky (1962) – Parte II. Capítulo 1



Para las labores mineras activas, en las que prácticamente el movimiento es turbulento, la relación entre la depresión h , la resistencia aerodinámica R y el caudal Q , se expresa por una ecuación parabólica $H = RQ^2$.

3.5.2. Desarrollo de La ecuación de Atkinson y la Ley del Cuadrado

Aplicado sólo a flujos incompresibles y turbulentos, con la finalidad de desarrollar e ilustrar las ecuaciones y conceptos que se emplean con mayor frecuencia en la ingeniería de ventilación subterránea.

En el año 1850, un ingeniero inglés -John Atkinson-, estableció las primeras bases sobre la cual se desarrollaría la Ventilación de Minas, constituyéndose ésta como una rama más de la Ingeniería de Minas. Atkinson dedujo que, la diferencia de presión requerida para inducir un flujo de aire a través de una galería minera, es proporcional al cuadrado de la velocidad, la longitud y perímetro de la galería, e inversamente proporcional al área de la misma; determinó además, que el revestimiento interno de la galería influía en la diferencia de presión requerida para inducir el flujo.

Al tratar de cuantificar las relaciones que rigen el comportamiento de flujo de aire en las minas, Atkinson utiliza en particular la relación de Chezy Darcy de forma expresa en la ecuación:

$$H = \frac{fLC}{A} * \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde:

H = Pérdida de presión por fricción

L = Longitud

C = Perímetro

ρ = Densidad del aire

A = Área

V = Velocidad Media

f = Factor de fricción: es un coeficiente adimensional el cual, para una turbulencia total, depende sólo de la rugosidad de las paredes del canal.

Por otra parte, las minas de la época de Atkinson eran relativamente poco profundas, permitiendo que la densidad del aire, ρ , sea considerado también como constante.

Atkinson fue capaz de reunir las "constantes" de la ecuación en un solo factor:

$$K = \frac{\rho f}{2}$$

La ecuación de J. Atkinson, denominada “Ley de Atkinson” queda:



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

Donde:

H = Pérdida de presión por fricción [Pa]

K = Factor de fricción [Ns^2/m^4]

C = Perímetro [m]

L = Longitud [m]

A = Área [m^2]

V = Velocidad [m/s]

La ecuación de Atkinson puede escribirse en términos de caudal de aire (Q):

$$Q = V * A \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Dando:

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

Ahora, para cualquier vía de ventilación dada, la longitud (L), el perímetro (C), y el área de la sección transversal (A), son conocidos. Si ignoramos su dependencia con la densidad, el factor de fricción varía sólo con la rugosidad del revestimiento del conducto de ventilación para una turbulencia completamente desarrollada. Por lo tanto, podemos recopilar todas esas variables en un solo número característico, R , para una vía de ventilación.

$$R = \frac{K * C * L}{A^3}$$

En [$\text{N s}^2/\text{m}^8$] o [kg/m^7]

Entonces al reemplazar R en la ecuación de Atkinson se tiene:

$$H = R * Q^2 \text{ [Pa]}$$

Esta ecuación se conoce como **la ley del cuadrado de la ventilación de minas**, y es probablemente la única relación más ampliamente usada en la ingeniería de ventilación subterránea.

El parámetro R se denomina resistencia de la vía de ventilación de Atkinson y, como se muestra por la ley del cuadrado, es el factor que regula la cantidad de flujo de aire Q , que pasará cuando una vía de aire está sometido a cualquier diferencial de presión dado, H .



3.5.3. Determinación del Factor de Fricción

El grado de rugosidad de una labor subterránea tiene una influencia importante en su resistencia y, por lo tanto, en el costo de transmitir cualquier caudal de aire dado. La rugosidad de la superficie, también tiene una influencia directa sobre la tasa de transferencia de calor entre la roca y la corriente de aire.

Los coeficientes de fricción, f , se basan en el concepto de rugosidad. Además, el factor de fricción Atkinson, K , está directamente relacionada con f . Sin embargo, el factor de K debe tolerar amplias desviaciones en la magnitud y distribución de asperezas en cualquier superficie determinada.

El propósito principal de un coeficiente de fricción, f , o factor de fricción, K , es ser capaz de predecir la resistencia de una vía de ventilación prevista, pero aún no construida.

Los métodos principales de la determinación de un valor apropiado del factor de fricción son los siguientes:

Por analogía con vías de ventilación similares

Durante el monitoreo de ventilación; mediciones de caídas de presión por fricción, y caudales de aire correspondientes, se seleccionan en una serie de vías de ventilación. Durante los reconocimientos, es importante elegir algunas vías de ventilación representativas, por ejemplo, labores de accesos y labores de transporte, para llevar a cabo pruebas adicionales, en las que se miden también la geometría de la vía de ventilación y la densidad del aire. Los valores correspondientes del factor de fricción pueden entonces calcularse.

Los valores de K se pueden posteriormente utilizar para determinar la resistencia de las vías de ventilación similares planificadas y, si es necesario, a diferentes densidades de aire. Además, cuando existe un gran número de vías de ventilación similares, los valores representativos de factor de fricción pueden ser empleados para reducir el número o longitud de las vías de ventilación a ser monitoreadas.

La experiencia ha demostrado que las determinaciones locales de factor de fricción, conducen a una mejor planificación que las que figuran en las tablas. Las diferentes minas pueden variar considerablemente en sus técnicas de mecanizado, perforación y voladura, desarrollo vial, así como en los métodos de explotación. Además, muchos modos de drenaje en la calzada, o la influencia de las fracturas en la roca, dejan rugosidades en la superficie que tienen una tendencia direccional. En tales casos, el valor del factor de fricción dependerá también de la dirección del flujo de aire.

A partir de las tablas de diseño

Mediciones del tipo descrito en la subsección anterior se han realizado en una amplia variedad de minas, países y condiciones de las vías de ventilación. Tablas han sido compiladas a partir de una combinación de pruebas reportadas, y los resultados de



numerosas observaciones hechas durante la realización de estudios de ventilación. Cabe mencionar, una vez más, que los datos empíricos de diseño de este tipo, deben utilizarse sólo como una guía y cuando los factores de fricción determinadas a nivel local no están disponibles.

Para las labores mineras, se asume K igual a una constante determinada de la tabla 7. Experimentalmente este factor puede ser determinado a partir de mensuras de ventilación, eso es, midiendo la presión estática y el caudal entre dos puntos y un ducto.

En el caso de ductos de ventilación (mangas), el factor K y sus correcciones pueden ser determinados mediante las tablas 10 y 11, su valor dependerá del material utilizado para su fabricación y el estado de su conservación. Para cálculos de mayor precisión, el factor K debe ser corregido por los cambios de densidad (altura), la que se consigue multiplicando K por el cociente de dos densidades: w (normal) / w (standard), tabla 8.

Las labores mineras y los ductos tienen frecuentemente irregulares como codos, acoples, uniones, particiones, expansiones, etc., que para fines de cálculo deben ser cuantificadas, y se consiguen añadiendo a la longitud real del ducto una longitud equivalente determinada de la tabla 9.

Tipo de labor minera	Irregularidades en la superficie y alineamiento	Valor del coeficiente $K \times 10^{10}$											
		recto			sinuoso o curvado								
		limpio (L)	Poco Obstruido (PO)	Moderadamente Obstruido (MO)	suave			Moderado			Fuerte		
					L	PO	MO	L	PO	MO	L	PO	MO
Superficie Lisa	mínimo	10	15	25	20	25	35	25	30	40	35	40	50
	promedio	15	20	30	25	30	40	30	35	45	40	45	55
	máximo	20	25	35	30	35	45	35	40	50	45	50	60
Roca Sedimentaria	mínimo	30	35	45	40	45	55	45	50	60	55	60	70
	promedio	55	60	70	65	70	80	70	75	85	80	85	95
	máximo	70	75	85	80	85	95	85	95	100	95	100	110
Con en maderación	mínimo	80	85	95	90	95	105	95	100	110	105	110	120
	promedio	95	100	110	105	110	120	110	115	125	120	125	135
	máximo	105	110	120	115	120	130	120	125	135	130	135	145
Roca Ígnea	mínimo	90	95	105	100	105	115	105	110	120	115	120	130
	promedio	15	150	160	155	160	165	160	165	175	170	175	195
	máximo	195	200	210	205	210	220	210	215	225	220	225	235

Tabla 7: Coeficientes de fricción K para labores mineras.



Altitud (pies)	Presión Atmosférica (lb/pulg ²)	Presión Barométrica (pulg*Hg)	Densidad Relativa (w/wg)
0	14,69	29,92	1
500	14,42	29,38	0,981
1000	14,15	28,86	0,964
1500	13,91	28,33	0,947
2000	13,66	27,82	0,93
2500	13,41	27,31	0,913
3000	13,16	26,81	0,896
3500	12,92	26,32	0,88
4000	12,68	25,84	0,864
4500	12,45	25,36	0,848
5000	12,22	24,89	0,832
5500	11,99	24,43	0,816
6000	11,77	23,98	0,799
6500	11,55	23,53	0,786
7000	11,33	23,09	0,774
7500	11,12	22,65	0,758
8000	10,91	22,22	0,739
8500	10,7	21,8	0,728
9000	10,5	21,38	0,715
9500	10,3	20,98	0,701
10000	10,1	20,58	0,687
10500	9,9	20,18	0,674
11000	9,71	19,75	0,661
11500	9,52	19,4	0,648
12000	9,34	19,03	0,636
12500	9,15	18,65	0,624
13000	8,97	18,29	0,611
13500	8,8	17,93	0,599
14000	8,62	17,57	0,587
14500	8,45	17,22	0,576
15000	8,28	16,88	0,564

Tabla 8: Densidades del Aire a diferentes elevaciones.



Labor	Longitud Equivalente (pies)
codo agudo redondeado	3
codo agudo puntiforme	150
codo recto redondeado	1
codo recto puntiforme	70
codo obtuso redondeado	0,5
codo obtuso puntiforme	15
compuerta	70
cruce (sobre galería)	65
Entrada de aire	3
Descarga	65
Estrangulamiento gradual	1
Estrangulamiento abrupto	10
Expansión gradual	1
Expansión abrupta	20
Partición en dos ramales rectos	30
Partición en dos ramales obtusos (>90)	200
Unión de dos ramales rectos	60
Unión de dos ramales obtusos (>90)	30
Carro de mina o skip (20% de la sección del camino)	100
Carro de mina o skip (40% de la sección del camino)	500

Tabla 9: Longitudes equivalentes en labores mineras y ductos.

Manga o ducto	Estado Bueno (Nuevo)	Estado Regular (Usado)
Acero-madera	15	20
Jute Lona	20	25
Lona en espiral	22,5	27,5

Tabla 10: Coeficientes de fricción para ductos de ventilación

Manga o ducto	Estado Bueno (Nuevo)	Estado Regular (Usado)
Acero-madera	1	1,33
Jute Lona	1,33	1,67
Lona en espiral	1,5	1,83

Tabla 11: Coeficientes de fricción para ductos de ventilación.

3.5.4. Tipos de caídas de presión

Cuando la corriente de ventilación circula a través de las diversas labores de un yacimiento, sufre una disminución en su energía cinética, que se manifiesta a través de la caída de su presión. Ésta pérdida que experimenta el aire, puede tener diversas causas que la originan, y en función de éstas, pueden clasificarse en tres tipos diferentes:



- **Pérdidas de carga por rozamiento:** se produce como consecuencia del rozamiento que experimentan las moléculas de aire entre sí, con las paredes de la labor a través de la cual se mueven.

La resistencia se puede calcular si se sabe la forma del conducto, y el coeficiente de fricción entre el material y el aire.

$$hr = \frac{\alpha * Pl * L * Q^2}{A^3}$$

Donde:

α = Coeficiente de fricción

L = Longitud de la labor

Pl = Perímetro de la labor (Se considera una sección rectangular) = $2 * (a + b)$

A = Sección de la labor

Q = Caudal de aire circulante.

Tablas de coeficiente de fricción

Cada material tiene un coeficiente de fricción para el aire, que suele estar medido con una densidad del aire de $1,2 \text{ kg/m}^3$.

Con la siguiente tabla para cada tipo de tubo (fabricado con un material), se obtiene un coeficiente de fricción:

Material	Coeficiente de fricción
Plástico rígido	0,002
Fibra de vidrio	0,00215
Metálico liso	0,0035
Metálico cinta enrollada	0,004
Flexible liso	0,012
Flexible reforzado	0,005

Tabla 12: Coeficiente de fricción según el material del tubo

Con la siguiente tabla, para cada tipo de galería se obtiene un coeficiente de fricción:

Tipo de galería	Coeficiente de fricción
Forrada	0,006
Desnuda	0,012
Bulonada	0,012
Entibación de madera	0,0192
Entibación de metal	0,024

Tabla 13: Coeficiente de fricción según el tipo de galería.



Pérdidas de cargas locales: se entiende por éstas, a las producidas en lugares determinados del yacimiento, y se relacionan con cambios en la dirección de la corriente de aire, cambios en la sección de la galería y cruces de corriente de aire. Este tipo de pérdidas de carga, representan generalmente del 10% al 30% de las pérdidas de cargas totales en un sistema de ventilación de la mina.

$$hl = \frac{\xi * V^2 * Pe}{2 * g}$$

Donde:

ξ = Coeficiente de resistencia local

V = Velocidad del aire

Pe = Peso específico estándar del aire = 1,2 kg/m³

g = Aceleración de la gravedad

Valores de ξ para diferentes tipos de Resistencia Local:

Nº de Figura	Tipo de resistencia local	Coeficiente de resistencia ξ	Esquemas de labores
1	Entrada en la galería o pique	0,6	
2	Entrada en la galería o pique con paredes redondeadas	0,1 con $R = 0,1D$	
3	Giro bajo ángulo de 90º, con ambas paredes no redondeadas	1,4	
4	Giro bajo ángulo de 90º, con la pared interior desquinada en un ángulo de 45º	0,66 con el largo del desquinche igual a 1/2b	
5	Giro con ambas paredes redondeadas	0,6 para $R_i = 1/3 b$; $R_e = 1 1/2 b$	
		0,3 para $R_i = 2/3 b$; $R_e = 1 7/10 b$	
6	Giro doble en dirección contraria bajo ángulo, en cada caso. De 90º	2,4	

Continuación de la tabla en siguiente página.



Nº de Figura	Tipo de resistencia local	Coefficiente de resistencia ξ	Esquemas de labores
7	Giro doble en planos mutuamente perpendiculares	2,8	
8	Unión en ángulo recto, con ramificación de la corriente	3,6	
9	Unión en ángulo de 60º, con ramificación de la corriente	1,5	
10	Empalme de ángulo recto, con unión de los componentes	2,0	
11	Ídem, pero con desquinche con 45º	1,0	
12	Empalme en ángulo con unión de las corrientes	1,0	
13	Empalme en ángulo recto, con unión de la corriente lateral con la traspasante	2,6	
14	Unión en ángulo recto, con ramificación de las corrientes en dos direcciones	2,5	
15	Unión en ángulo de 60º, con ramificación de las corrientes en labores laterales	1,0	

Tabla 14: Valores de ξ para diferentes tipos de Resistencia Local

- **Pérdidas de cargas frontales:** se presentan en una mina y vienen dadas por los divisores de los piques, equipamiento de las galerías, frentes de explotación, y por el personal que circula en las diversas labores del yacimiento.

El método que se emplea en la resolución de los circuitos de ventilación, consiste en sustituir las pérdidas de carga locales y frontales, por una longitud de galería tal que produzca una pérdida por rozamiento equivalente.



Longitudes equivalentes

Tipos de accidente	Metros de labor equivalente
Curva en ángulo agudo	45
Curva en ángulo recto	20
Curva en ángulo obtuso	5
Cruce de ventilación	20
Contracción brusca	3
Expansión brusca	6
Bifurcación en ángulo agudo	9
Bifurcación en ángulo recto	60
Cruce de corrientes, ángulo agudo	18
Cruce de corrientes, ángulo recto	9
Vagonetas, etc. (20% de la sección de la galería)	30
Vagonetas, etc. (40% de la sección de la galería)	150

Tabla 15: Longitudes equivalentes según los tipos de accidentes

3.5.5. Resistencia a la circulación del aire en la labor

Se denomina resistencia, a la dificultad que ofrece una labor minera o conducto al pasaje de una corriente de aire.

El concepto de resistencia de la vía aérea, es de gran importancia en la ingeniería de la ventilación subterránea. La forma simple de la *ley del cuadrado*:

$$H = R * Q^2$$

Muestra la resistencia como una constante de proporcionalidad entre la caída de presión por fricción, H, en una vía de ventilación dada y el cuadrado del caudal de aire, Q, pasando a través de él a un valor especificado de densidad del aire. La forma parabólica de la ley del cuadrado en una gráfica de caída de presión, H, caudal, Q, es conocida como la curva de resistencia de los conductos de ventilación.

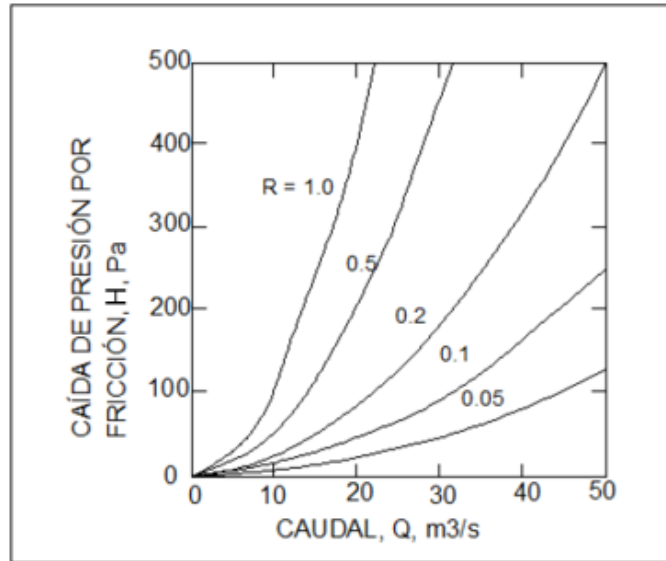


Figura 17: Curvas de Resistencia de los Conductos de Ventilación

La resistencia que ofrece una labor se clasifica en tres categorías diferentes, las que se relacionan directamente con las categorías consideradas al clasificar las pérdidas de carga.

- Resistencias por rozamiento.
- Resistencias locales.
- Resistencias frontales.

La resistencia más importante es la *resistencia por rozamiento* (R_r), y la única que se determina mediante fórmula.

Las *resistencias locales* (R_l) y las *frontales* (R_f) no se calculan directamente, sino que se incrementa una longitud de la labor equivalente en la fórmula de las R_r . Por lo dicho anteriormente, entonces $R_r = R$.

$$R_r = \frac{\alpha * (L + Leq) * Pl}{A^3} = R$$

El costo de transmitir cualquier flujo de aire dado a través de un conducto de ventilación, varía directamente con la resistencia de los conductos de ventilación. Por lo tanto, ya que el costo total de operación de una red completa es la suma de los costos individuales de los conductos de ventilación, es importante familiarizarse con los factores que influyen en la resistencia de los conductos de ventilación siguientes:

- Tamaño de los conductos de ventilación.
- Forma de los conductos de ventilación.
- Revestimiento de las vías de ventilación.
- Densidad del aire.



3.6. Metodología utilizada en la medición del Caudal y velocidad del Aire.¹⁹

La velocidad del aire es el parámetro de ventilación que más se mide dentro de un yacimiento, ya que su valor permite calcular el caudal de aire que circula por las diversas labores de la mina.

Los anemómetros son los instrumentos más utilizados para la medición de la velocidad del aire. Tanto los modelos manuales como los digitales, constan de hemisferios o aspas que giran bajo la acción de la corriente a una velocidad proporcional a la de ésta. Los más modernos contienen una sonda de hilo caliente.

Para la realización de las mediciones con anemómetro, existen técnicas y métodos que permiten obtener valores los más exactos posibles. Entre estas técnicas podemos mencionar las siguientes:

Por Fórmula: se realiza una sola medición en el centro de la galería o conducto, donde la velocidad es máxima, y el valor medio se obtiene por la fórmula siguiente:

$$V_m = 0,8 * V$$

Sección Completa: se desplaza el anemómetro por la sección de la galería, realizando mediciones regulares en diversos puntos de la trayectoria recorrida y calculando la velocidad media, como la media de las lecturas efectuadas.

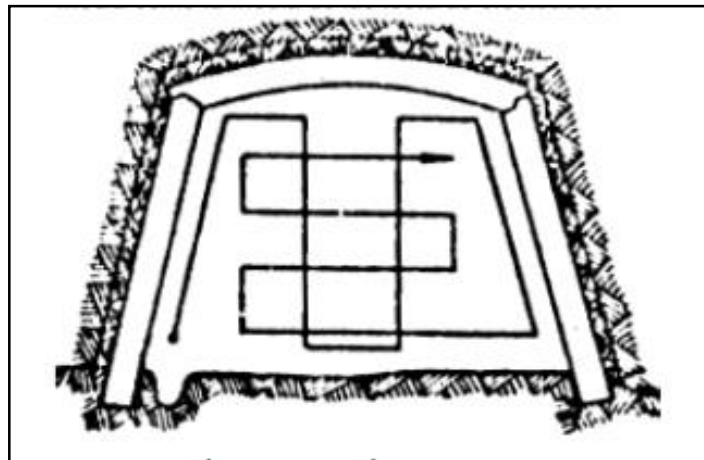


Figura 18: Método de sección completa

Por Cuadrícula: se divide imaginariamente la galería mediante unas cuadrículas de áreas iguales, y se toma una medida de velocidad en el centro de cada una de ellas. La velocidad en el conducto es la media aritmética de las mediciones efectuadas. Este es un método muy exacto, pero lento.

¹⁹ Ventilación de Minas. Alejandro Novitzky (1962) – Parte II. Capítulo 1



Polar: se divide la sección de la galería en círculos, con diámetros de $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ y $\frac{5}{6}$ de la galería, por lo que se hace recorrer el anemómetro. Si V_1 , V_2 , V_3 y V_4 , son las velocidades en los círculos de radio $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ y $\frac{5}{6}$ y en el centro de ellos, la velocidad media viene dada por la fórmula siguiente:

$$Vm = 0,07V_4 + 0,3(V_1+V_2+V_3)$$

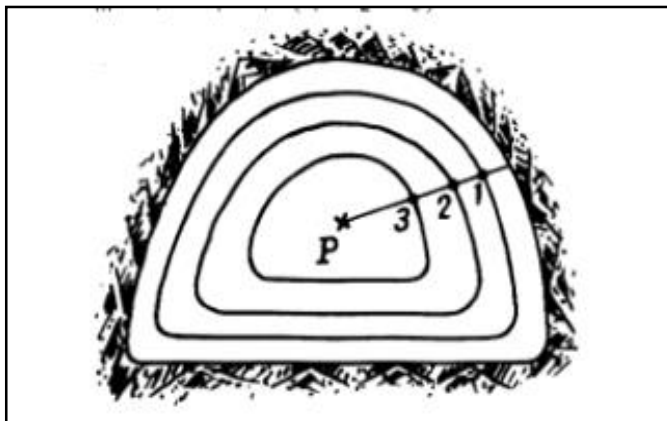


Figura 19: Método polar

Aproximado: se toman sólo cuatro medidas en los puntos de intersección de los ejes vertical y horizontal de la labor, con un círculo de radio igual a $\frac{2}{3}$ del de la galería. La velocidad será la media aritmética de las cuatro mediciones.

Independientemente del método que se aplique, las mediciones efectuadas deben ser corregidas, mediante un factor que tenga en cuenta la obstrucción que produce el operador del equipo en la galería. Cuando el operador no puede esconderse durante las mediciones, debe multiplicarse la velocidad determinada por 1,14, y en el caso de que la persona que realiza el trabajo se coloque con el dorso hacia la pared y mueva el instrumento con el brazo extendido, la corrección se determina por la siguiente fórmula:

$$C = \frac{S - 0,4}{S}$$

Donde:

C = Corrección a aplicar

S = Sección de la galería en m^2

3.6.1. Velocidad del aire en Labores Subterráneas²⁰

En toda labor la velocidad del aire no deberá ser menor de 20 m/min (0,33 m/s), ni superior a 250 m/min (4,2 m/s).

²⁰ Ventilación de Minas, Ing. José Villanueva Torres, INTERCADE, Perú.



Cuando se emplea explosivo ANFO u otros agentes de voladuras, la velocidad del aire no debe ser menor a 20 m/min (0,42 m/s).

3.7. Requerimiento de Aire para una Mina Subterránea

El caudal necesario para satisfacer las necesidades, tanto del personal como de los equipos que en conjunto desempeñan tareas en el interior de la mina, se establecen de acuerdo a los requerimientos legales, normas de confort y eficiencia del trabajo.

Este caudal, debe garantizar la dilución de los gases generados tanto por los equipos y maquinarias de combustión interna (Diésel), como los gases provenientes de las voladuras y los polvos asociados a las distintas operaciones.

La estimación del caudal de aire requerido dentro de las áreas de trabajo de una red de ventilación de la mina, es el aspecto más empírico de la planificación de la ventilación moderna. La mayoría de éstas evaluaciones siguen basándose en la experiencia local de las emisiones de gases, polvo o carga de calor.

El aire, al pasar por una mina sufre cambios en su composición, principalmente de disminución de oxígeno. En minas poco profundas, el clima dentro de las minas, no presenta mayores preocupaciones, pero cuando tienen profundidades superiores a 1000 m, éste es un problema que debe ser atendido.

Para ventilar una mina se necesitan ciertas cantidades de flujo de aire, con una caída de presión determinada (H), a cierta densidad del aire (W). Conocidas la caída y el caudal de la mina (Q), punto de operación del sistema, existen casi un número infinito de ventiladores en el mundo que satisface el punto operacional adecuado.

3.7.1. Cálculo de caudales requeridos²¹

Las necesidades de aire del interior de la mina, deben ser determinadas en base al personal y el número de equipos que trabajan en el interior de las labores y en los niveles que componen la mina, además de conocer el método de explotación.

El cálculo de las necesidades, permitirá ventilar las labores mineras en forma eficiente, mediante un control de flujos tanto de inyección de aire fresco, como de extracción de aire viciado. Esto permite diluir y extraer el polvo en suspensión, gases producto de la voladura o de la combustión de los vehículos.

Para determinar el requerimiento de aire total se utilizan los siguientes parámetros operacionales:

- I. Caudal requerido por el número de personas (Q_1)

²¹ Ventilación de Minas. Alejandro Novitzky (1962) – Parte II. Capítulo VIII



- II. Caudal requerido por desprendimiento de gases (Q_2)
- III. Caudal requerido por la producción (Q_3)
- IV. Caudal requerido por equipo Diésel (Q_4)
- V. Factor de seguridad (en concepto de fugas y/o filtraciones)

3.7.1.1. Caudal Requerido para el Personal

El requisito general para toda mina, es que en todos los lugares donde se requiere personal, tanto para su lugar de trabajo o su respectivo traslado, el flujo de aire debe ser proporcionado en cantidades tales que salvaguarden la seguridad, la salud, y además que le proporcione una comodidad razonable.

El requerimiento de caudal según el número de trabajadores varía con las características individuales de la mina, inclusive este varía de un país a otro. De acuerdo a la legislación minera vigente en nuestro territorio provincial, el caudal de la corriente será tal que, cada sector disponga de por lo menos 50 litros de aire por segundo y por hombre presente en el turno más numeroso, no pudiendo ser disminuido en turnos más reducidos o no ocupados. (Ley Provincial 2233 - Decreto E. N° 615/88- Art. 95°).

$$Q_1 = F * N$$

Dónde:

Q_1 = Caudal total para “n” personas que trabajen en interior mina (m^3/ min)

F = Caudal mínimo por persona (m^3/ min)

N = Número de personas en el lugar.

El **"Reglamento Nacional de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera". Decreto 249/2007** exige un requerimiento mínimo de aire para el personal minero:

“En las minas subterráneas la atmósfera deberá purificarse por medio de una corriente de aire puro que asegure no menos de TRES (3) metros cúbicos por minuto por cada persona”.

El **“Reglamento Peruano de Seguridad y Salud Ocupacional” y otras medidas complementarias en minería - Decreto Supremo N° 055-2010-EM** en su **Artículo 236** exige el requerimiento para el personal con el siguiente apartado:

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

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



3.7.1.2. Caudal requerido por desprendimiento de gases de voladura

La Fórmula de Novitsky, es el método principal para determinar el caudal requerido según el consumo de explosivos en las minas metalíferas, y se basa en dos valores:

1. Formación de 0.04 m³ de productos tóxicos por la detonación de 1 kg de explosivo.
 2. Tiempo de ventilación no mayor a 30 minutos, con excepción de explotación en masa.
- Y como de acuerdo con los reclamos de seguridad, los productos tóxicos de la explosión deben ser diluidos a no menos de 0.008% según el volumen, por lo que el caudal de aire por conducir deberá ser:

$$Q_2 = \frac{100 * a * A}{0,008 * t}$$

Dónde:

Q_2 = Caudal de aire requerido según el consumo de explosivos (m³/ min)

a = Volumen de gases generados por cada kg de explosivo. Valor sugerido: 0.04 (m³/kg de explosivo)

A = Cantidad de explosivo por pega (kg)

t = Tiempo de ventilación (min).

Donde el parámetro (a) no debe exceder los 0,15 m³ de gases tóxicos por kilogramo de explosivo.

En realidad, los gases de la explosión no se diluyen en un espacio cerrado; pero, una parte de los gases se elimina continuamente del frente por el flujo de aire (lo que no prevé la fórmula) y, además, los gases tóxicos se diluyen en contacto con la nube de gases en movimiento con el aire limpio (tampoco toma en cuenta la fórmula). Así es que los gases se diluyen más rápidamente de lo que prevé la fórmula, y no se necesitará el volumen de aire 100:0.008 = 12,500 veces el de gases tóxico.

Otra forma para determinar el caudal de aire para ventilar los gases generados por las voladuras, es utilizando la fórmula propuesta por Borisov:

$$Q_2 = \frac{12,5 * A * B}{t}$$

Dónde:

Q_2 = Caudal de aire requerido según el consumo de explosivos (m³/ min)

A = Cantidad total de explosivo por pega (kg)

B = Volumen de CO generado por cada kg de explosivo (l) (Según regla de seguridad, 40l)

t = Tiempo de ventilación (min)



El “**Reglamento Peruano de Seguridad y Salud Ocupacional**” y **Otras Medidas Complementarias en Minería - Decreto Supremo N° 055-2010-EM Artículo 236** establece el requerimiento de aire sobre el uso de explosivos:

Inciso e) En ningún caso la velocidad del aire será menor de veinte (20) metros por minuto, ni superior a doscientos cincuenta (250) metros por minuto en las labores de explotación, incluido el desarrollo, preparación y en todo lugar donde haya personal trabajando. Cuando se emplee explosivo ANFO, u otros agentes de voladuras, la velocidad del aire no será menor de veinticinco (25) metros por minuto.

3.7.1.3. Caudal requerido por equipo Diésel

La condición básica, es que el caudal de aire sea lo suficiente para diluir los gases de escape, y el material particulado diésel por debajo de cada uno de sus respectivos valores umbrales.

Cuando los equipos diésel son usados en el transporte subterráneo, se debe considerar cuidadosamente la dilución de gases tóxicos emitidos, que contienen generalmente pequeñas cantidades de CO, CO₂, óxidos de nitrógenos aldehídos, algo de humo y SO₂. Para mantener la concentración de CO por debajo del límite permisible de 50 ppm, debe haber por lo menos 2,7 m³/min de aire fresco por cada bhp (potencia al freno). El humo y otros gases emitidos pueden ser absorbidos por medio de aparatos especiales instalados en el escape.

$$Q_4 = K * N$$

Dónde:

Q_4 = Cantidad de aire requerido para equipos diésel (m³/ min)

N = Número de hp de los equipos

K = Cantidad de aire necesario por cada hp (m³/ min)

El “**Reglamento de Seguridad Minera Chileno**” - **Decreto Supremo N° 132**- Referente a equipos diésel:

Artículo 132: En los frentes de trabajo donde se utilice maquinaria diésel, deberá proveerse un incremento de la ventilación necesaria para una óptima operación del equipo y mantener una buena dilución de gases. El caudal de aire necesario por máquina debe ser el especificado por el fabricante. Si no existiese tal especificación, el aire mínimo será de dos comas ochenta y tres metros cúbicos por minuto (2,83 m³/min), por caballo de fuerza efectivo al freno, para máquinas en buenas condiciones de mantención.

El caudal de aire necesario para la ventilación de las máquinas diésel, debe ser confrontado con el aire requerido para el control de otros contaminantes, y decidir su aporte al total del aire de inyección de la mina. De todas maneras, siempre al caudal requerido por equipos diésel, debe ser agregado el caudal de aire calculado según el número de personas trabajando.

Artículo 135: La operación de los equipos diésel en el interior de la mina, se deberá detener al presentarse cualquiera de las siguientes condiciones:



- a) Cuando las concentraciones ambientales con relación a los contaminantes químicos, en cualquier lugar donde esté trabajando la máquina, exceda de:

CONTAMINANTE	p.p.m.
Monóxido de Carbono	40
Óxidos de Nitrógeno	20
Aldehído Fórmico	1,6

Tabla 16: Concentraciones Máximas Permisibles

- b) Cuando la concentración de gases, medidos en el escape de la máquina, excedan de dos mil (2,000) partes por millón de monóxido de carbono, o de mil (1,000) partes por millón de óxido de nitrógeno.

La legislación chilena sugiere entonces la siguiente fórmula:

$$Q_m = \frac{2,83 * N}{60}$$

Dónde:

Q_m = Cantidad de aire requerido para equipos diésel (m^3/s)

N = Potencia de la máquina (HP)

Otra fórmula utilizada para el cálculo del caudal de aire requerido para ventilar gases, es la de Widmarck y Platzler:

$$Q_m = \frac{1500 * C}{3600}$$

Dónde:

Q_m = Cantidad de aire requerido para equipos diésel (m^3/s)

C = Consumo de gasoil (kg/h)

3.7.1.4. Caudal requerido por otras necesidades

En un yacimiento, además de los caudales calculados anteriormente, se requieren cantidades de aire fresco que permitan satisfacer otras necesidades generadas por la explotación, entre ellas:

- **Cálculo de caudal necesario por la producción:**

La estimación del caudal basada en la producción varía con el tipo de mineral a explotarse, profundidad de las labores subterráneas y maquinaria minera a usarse.

Para minas metálicas, se debe tener en cuenta el consumo de madera, ya que ésta fijará un porcentaje de CO_2 existente en la atmósfera.

$$Q_3 = T * u$$



Dónde:

Q_3 = Caudal requerido por tonelada de producción diaria (m^3/ min)

u = Norma de aire por tonelada de producción diaria expresada en ($m^3/ min*t$)

T = Producción diaria en toneladas (t).

- **Cálculo de caudal necesario para la eliminación de gases generados por los baños:**

$$Q_b = 0,166 * n$$

Dónde:

Q_b = Caudal de aire para eliminar los gases de los baños (m^3/ min)

n = Número de personas que emplean el baño por turno.

3.7.1.5. Factor de seguridad

En el diseño del sistema de ventilación de una mina, hay ciertas variables que no pueden ser medidas ni controladas. Estas en el cálculo de caudales, son incorporadas bajo el nombre de factor de seguridad. El valor industrial de este factor varía de 1,1 a 1,9 dependiendo del estado de labores en la mina. Un valor usual es de 1,55.

3.8. Límites de Velocidad del Aire

La principal consideración en la dilución de la mayoría de los contaminantes es el caudal de aire. Sin embargo, la velocidad del aire debe también ser determinada. Velocidades excesivas no sólo agravan los problemas de polvo, sino también pueden causar molestias adicionales para el personal y resultados inaceptables en los costos operativos de ventilación.

Las diferentes legislaciones exigen límites máximos y mínimos de las velocidades del aire en las vías de ventilación. Un valor límite inferior permisible común para las vías de ventilación, donde trabaja o se transporta el personal minero es de 0,3 m/s. A esta velocidad, el movimiento del aire es apenas perceptible. Un valor más típico en los frentes de trabajo es de 1 a 3 m/s. Se experimentará incomodidad por el personal a velocidades de más de 4 m/s, a causa de impacto de partículas de polvo grandes y, sobre todo, en condiciones de baja temperatura.

La siguiente tabla muestra los valores límites superiores recomendadas para la velocidad del aire:



ÁREA	VELOCIDAD (m/s)
Frente de trabajo	4
Bandas transportadoras	5
Vías de transporte principales	6
Conductos de ventilación con revestimiento liso	8
Piques de elevación	10
Chimeneas de ventilación	20

Tabla 17: Velocidades Máximas Recomendaciones del Aire²²

En los piques extractores de aire húmedos, donde la condensación o las emisiones de agua en gotitas son transportadas por el aire, la velocidad del aire no debería encontrarse dentro del rango de 7 a 12 m/s. En este rango de velocidades se puede producir una capa de agua. Las variaciones de la resistencia del pique causan una carga oscilante en los ventiladores principales, y pueden producirse grandes cascadas intermitentes de agua que caen al fondo del pique.

3.9. Ventiladores²³

Un ventilador es una máquina que transmite energía a un fluido (aire o gases), produciendo el incremento de presión necesario (Presión Total) para mantener un flujo continuo de dicho fluido. Para realizar este trabajo el ventilador requiere de una potencia.

La potencia transmitida por el ventilador al aire (AHP) es igual:

$$P (AHP) = Q * P_t$$

Dónde:

P = Potencia desarrollada por el ventilador (vatios)

Q = Caudal del ventilador (m³/s)

P_t = Presión total del ventilador (Pa)

La potencia al freno requerida por el ventilador (BHP), es igual a la potencia transmitida al aire por el ventilador (AHP), dividida por la eficiencia del ventilador (n), que mide qué tanta potencia en el eje del motor se convierte por el ventilador en potencia transmitida al aire.

$$P (BHP) = \frac{Q * P_t}{n}$$

Cada ventilador viene definido por su curva característica, que es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento del mismo para cada ángulo de regulación de los álabes. Por lo

²² Background to subsurface ventilation and environmental engineering. MALCOLM J. McPHERSON, Chapter 9.

²³ Ventilación de Minas – Zitrón



tanto, tendremos una curva característica distinta para cada ángulo. El punto de corte de la curva del ventilador con la resistencia del circuito, es el punto de funcionamiento del ventilador.

La potencia eléctrica (HP) es igual a la potencia al freno requerida por el ventilador (BHP), dividida por la eficiencia del motor (μ).

$$P (HP) = \frac{BHP}{\mu}$$

3.9.1. Clasificación de los ventiladores

Los ventiladores se dividen en dos grandes grupos: centrífugos y axiales.

Los ventiladores axiales, son los más utilizados en la actualidad y a nivel global, para mover grandes caudales de aire en los trabajos subterráneos, operando tanto en interior mina, como en superficie. Los ventiladores de tipo centrífugo, actualmente son utilizados en sistemas de ventilación industrial, dado su capacidad de generar altas caídas de presión con caudales relativamente bajos.

Los ventiladores axiales, son los más utilizados en la actualidad y a nivel global, para mover grandes caudales de aire en los trabajos subterráneos, operando tanto en interior mina, como en superficie. Los ventiladores de tipo centrífugo, actualmente son utilizados en sistemas de ventilación industrial dado su capacidad de generar altas caídas de presión con caudales relativamente bajos.

Un ventilador puede ser de extracción de aire viciado, o de impulsión de aire fresco. Los ventiladores de impulsión generalmente son más sencillos que los de extracción. Estos últimos han de estar preparados, según la aplicación, para extraer aire abrasivo, humos calientes o gases explosivos

En estos casos, la protección del ventilador en su conjunto es más rigurosa. Además, los motores deben ser encapsulados para evitar que se dañen por la abrasión o la atmósfera corrosiva (casos típicos de minería), o resistentes a la temperatura durante un cierto intervalo de tiempo (caso de ventiladores de extracción de humos para emergencias en túneles).

I. Ventiladores Centrífugos

El ventilador centrífugo consiste en un rotor encerrado en una envolvente con forma de espiral; el aire, que entra a través del ojo del rotor paralelo a la flecha del ventilador, es succionado por el rotor, y arrojado contra la envolvente se descarga por la salida en ángulo recto a la flecha; puede ser de entrada sencilla o de entrada doble.

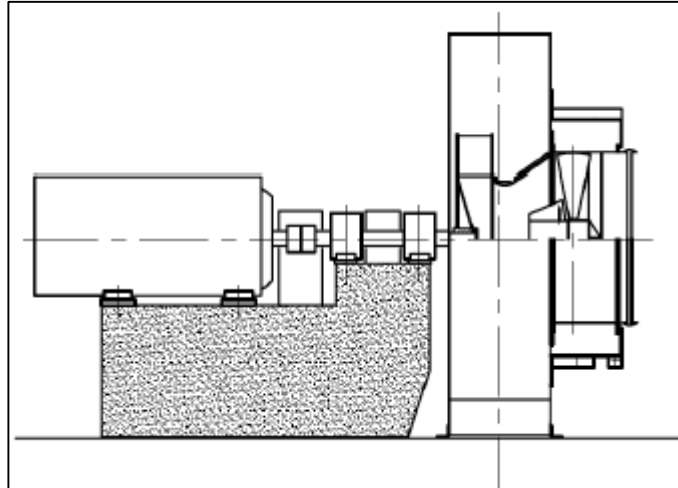


Figura 20: Ventilador Centrífugo

Son ventiladores de flujo radial. La trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo a la salida.

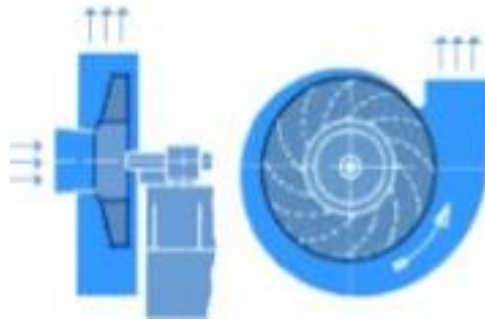


Figura 21: Sentido del flujo de aire

II. Ventiladores axiales

El ventilador axial es de diseño aerodinámico. Este tipo de ventilador consiste esencialmente en un rodete alojado en una envolvente cilíndrica o carcasa.

Puede funcionar en un amplio rango de volúmenes de aire, a presiones estáticas que van de bajas a moderadamente altas, y es capaz de desarrollar mayores presiones estáticas que el ventilador centrífugo, a la vez que es mucho más eficiente. Los álabes-guía, en la succión o en la descarga, o en ambas partes, se han añadido para enderezar el flujo del aire fuera de la unidad a la vez que sirven de apoyo en el diseño.

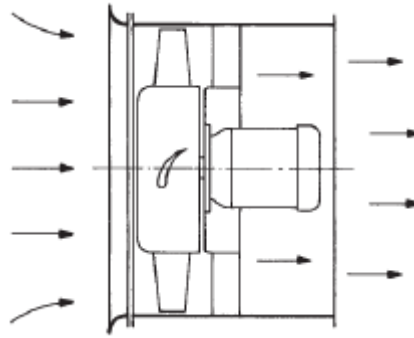


Figura 22: Ventilador Axial

Comparación de ventiladores axiales y centrífugos

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 importante, ya que el costo de la energía es un factor que se tiene muy en cuenta. Por lo 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.
- Mayor rendimiento mecánico de los ventiladores axiales, ya que los ventiladores centrífugos transmiten el movimiento desde el motor al rodete, con transmisión por correas o mediante otros tipos de transmisiones.
- Un ventilador axial, para las mismas prestaciones de presión y caudal, requiere menor espacio físico que un ventilador centrífugo, ya que por el diseño puede utilizar motores de mayor velocidad. El ventilador centrífugo, al contrario, necesita cimentaciones mayores incrementando el costo de la instalación significativamente.
- 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, pudiendo alcanzar una gran gama de puntos de funcionamiento, mientras que el ventilador centrífugo tiene regulación por velocidad, y si queremos conseguir otro punto de funcionamiento, será a base de aumentar la resistencia del circuito, lo que significaría un incremento de potencia debido a la regulación.



3.9.2. Curva característica de un ventilador y punto de operación

La capacidad de un ventilador no puede estar expresada por simples valores de presión y caudal, sino por un rango de valores relacionados entre sí, por medio de una curva continua conocida con el nombre de curva característica de un ventilador; la cual es representada generalmente en un sistema cartesiano de caudales en el eje de las abscisas y presiones en el eje de las ordenadas. Sobre esta curva será siempre posible encontrar un punto de máxima eficiencia, menor consumo de energía y bajo nivel de ruido.

Un ventilador se caracteriza por su curva, que es el lugar geométrico de los puntos de funcionamiento del mismo. Para cada ángulo de regulación de los álabes se tiene 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, se define el punto de corte de la curva característica del ventilador con la curva resistente del circuito de ventilación. Por lo tanto, el punto P_0 y Q_0 pertenece a la curva resistente de la mina.



Figura 23: Punto de Corte de la Curva del Ventilador con la Resistencia del Circuito

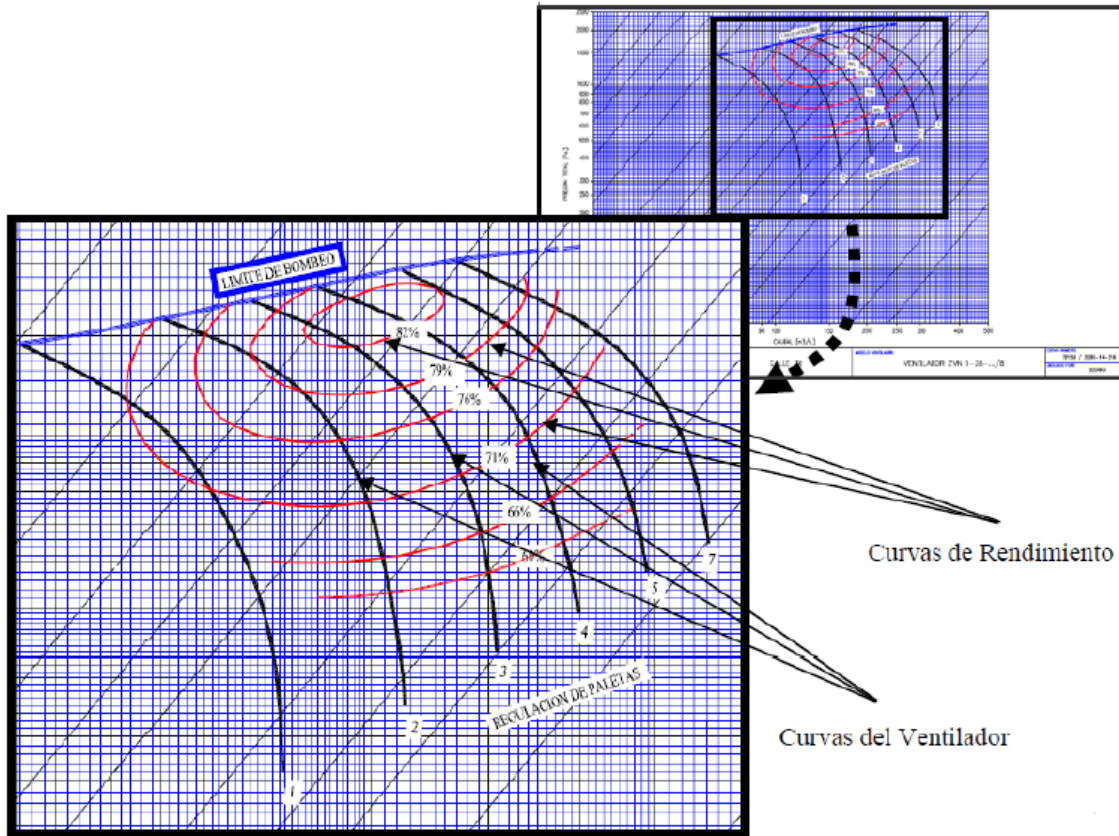


Figura 24: Curva Característica del Ventilador Axial

3.9.3. Acoplamiento de ventiladores

En instalaciones importantes de ventilación, cuando es necesario disponer de caudales o presiones con grandes variaciones, puede resultar conveniente de dotarlas de equipos acoplados de forma que, trabajando en conjunto, o bien separados, proporcionen la prestación exigida en cada momento.

I. Trabajo en serie de dos ventiladores

Con el trabajo en serie de dos ventiladores, el caudal de aire que pasa por ambos ventiladores debe ser igual, de valor Q_1 y la depresión total es igual a la suma de las depresiones producidas por cada ventilador $P_T = P_1/2 + P_2/2$.

En consecuencia, la curva característica totalizada de ambos ventiladores, se construye sumando las ordenadas de sus curvas características individuales.

El caudal total de dos ventiladores iguales, instalados en serie y que giran con igual número de revoluciones, es mayor que cada caudal parcial, pero, siempre inferior a la suma de los caudales del trabajo individual. Es decir, $Q_1 < Q_T < Q_1 + Q_2 = 2 \times Q_1$.



Para una resistencia dada, como podemos ver en el gráfico, un solo ventilador podría trabajar en un punto próximo al bombeo, en cambio, al acoplarle otro ventilador, se puede observar que (P_T , Q_T), está bastante alejado del régimen inestable.

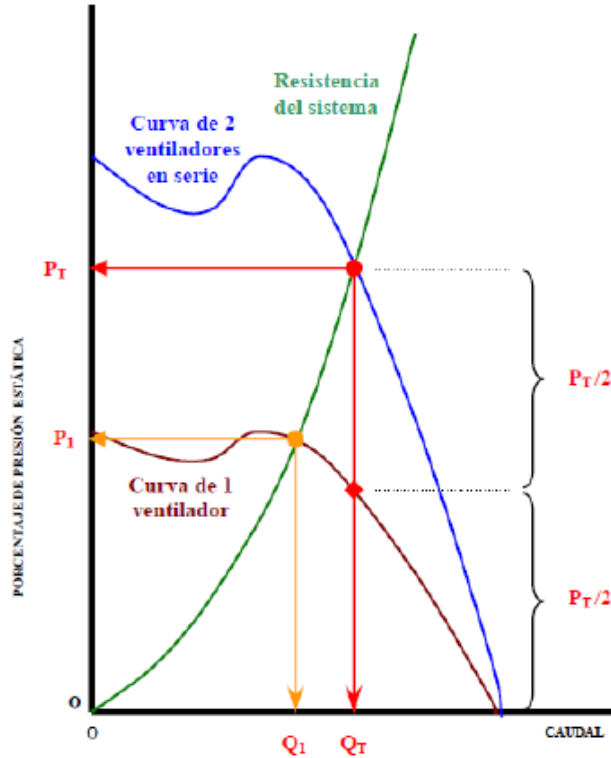


Figura 25: Curva de Dos Ventiladores en Serie

II. Trabajo en paralelo de dos ventiladores

En un sistema de trabajo de dos ventiladores en paralelo, cada ventilador es concebido para la mitad del caudal de diseño. Cuando dos ventiladores trabajan en paralelo, forman un sistema que estará caracterizado por la curva resultante de sumar las abscisas de sus curvas características individuales.

La resistencia del circuito corta la curva del sistema en un punto (P_T, Q_T). El punto de funcionamiento de cada ventilador, como se puede ver en la figura, corresponde a ($P_T, Q_1=Q_2$), tal que $Q_1+Q_2 = Q_T$ para el caso de dos ventiladores idénticos.

Si sólo uno de los ventiladores trabaja, su punto de funcionamiento sería distinto, con una presión más baja y con un caudal de aire mayor, (P_{T1}, Q_{T1}).

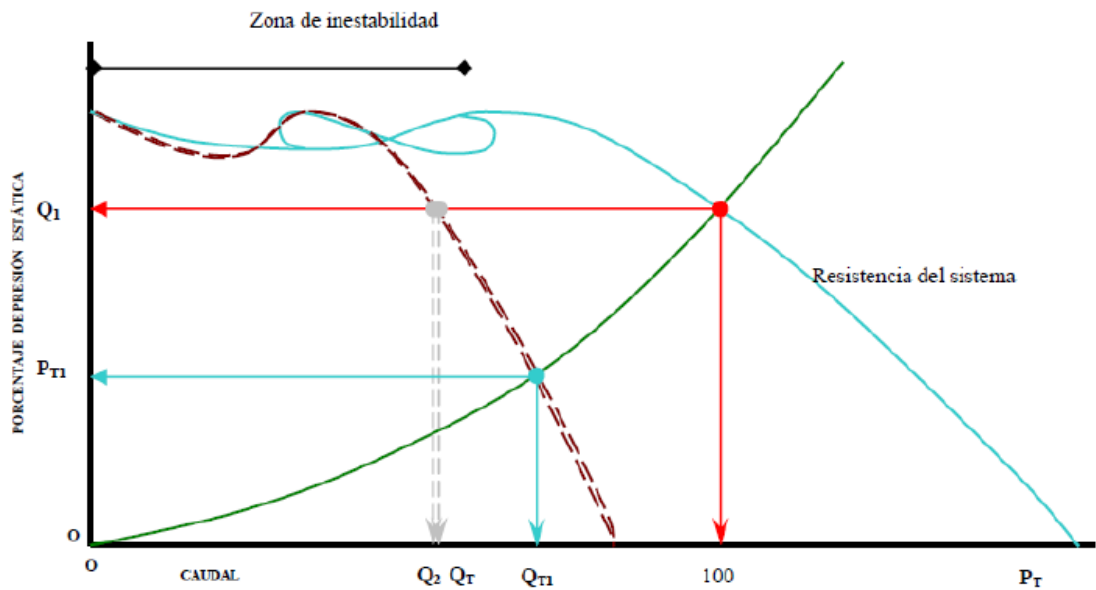


Figura 26: Curva de Dos Ventiladores en Paralelo

Al contrario del trabajo en serie de dos ventiladores, si la resistencia del circuito de ventilación es importante, si se arrancan dos ventiladores en paralelo, estos pueden entrar en régimen inestable a pesar de que individualmente trabajen bien.

3.9.4. Fenómeno de Bombeo

Para un solo ventilador en funcionamiento, si la resistencia del circuito fuese menor de lo estimado, el punto de funcionamiento se desplazaría hacia caudales mayores, pero, si la resistencia fuese más elevada, el punto de funcionamiento tendería a caudales inferiores, llegando incluso a hacer que el ventilador trabaje en régimen inestable, es decir, en bombeo. Este fenómeno se evita ya en fase de diseño calculando un tipo de álabe que defina una curva del ventilador, tal que el corte con la curva resistente esté fuera de la zona inestable del ventilador.

Para cada curva característica del ventilador tendremos un **punto de bombeo**, por lo tanto, si tenemos en cuenta que un ventilador tiene un haz de curvas que abarca el rango de regulación de los álaves, definimos la curva formada por los puntos de bombeo del haz como **“curva límite de bombeo”**.

Un ventilador operando cerca del punto de bombeo tendrá un severo incremento de ruido. En algunos ventiladores sonará casi como si el rodete estuviese siendo impactado por un objeto sólido.



Un ventilador trabajando continuamente en bombeo, puede provocar una fatiga estructural de los álabes. Esto es especialmente cierto para ventiladores axiales que tienen álabes largos, como es el caso de los ventiladores que entregan un alto caudal a presiones moderadas.

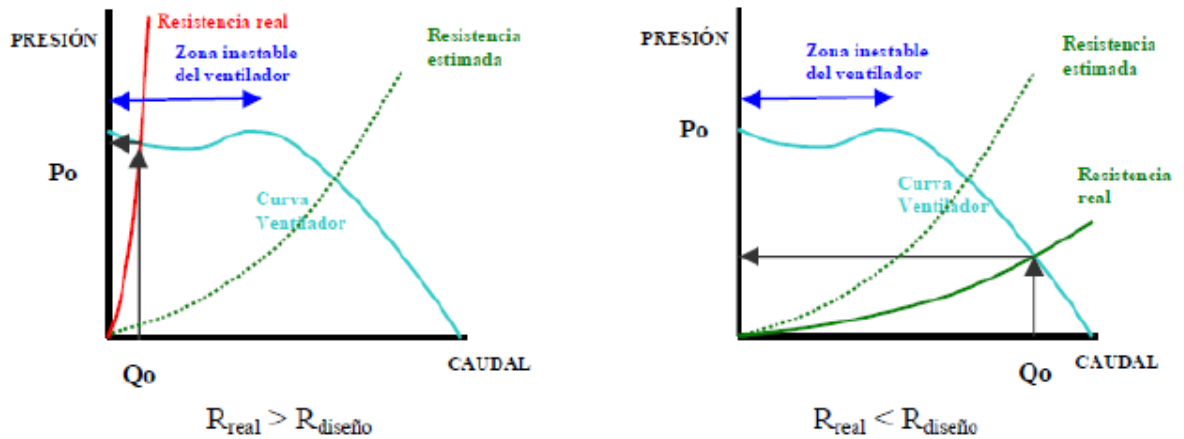


Figura 27: Zona de Trabajo del Ventilador Respecto a la Curva de Resistencia

El valor de catálogo del límite de bombeo descende con el uso del ventilador, a medida que los álabes sufren desgaste y el perfil va cambiando.

3.9.5. Trabajo en conjunto del ventilador y del tiro natural

La ventilación por la acción conjunta del ventilador y del tiro natural, es semejante a la ventilación de la mina mediante dos ventiladores instalados en serie, de los cuales uno representa la ventilación natural.

En vista de la constancia del valor de la ventilación natural, en la construcción de la característica totalizada, la ordenada de la característica de la ventilación natural se agrega a la ordenada de la característica del ventilador, en forma del segmento constante. Naturalmente, si la dirección de la ventilación natural es inversa a la dirección de la depresión del ventilador (tiro natural desfavorable), entonces, la ventilación natural se resta de la depresión del ventilador.

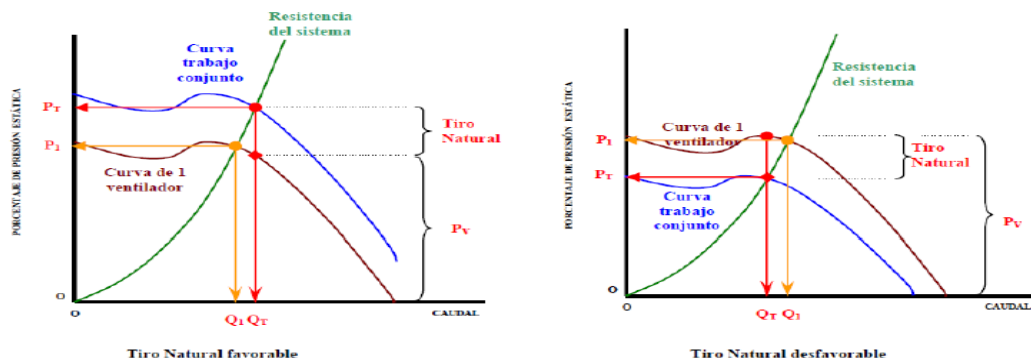


Figura 28: Curva del ventilador influenciado por la ventilación natural



Es importante tener en cuenta este fenómeno, ya que ventiladores que tengan un dimensionamiento muy ajustado sin considerar el tiro natural, si éste es desfavorable, pueden trabajar en régimen inestable. Es muy frecuente en minas que tienen ventiladores viejos, en las que la resistencia del circuito haya cambiado y que en verano los ventiladores trabajen en bombeo durante el día.

Si vemos la figura, en esta última situación el ventilador pasa de trabajar en (P_1, Q_1) a (P_V, Q_T) , que ya está prácticamente en bombeo.

Por lo tanto, si tenemos un tiro natural favorable, el ventilador trabajará más desahogado, pero en cambio, si el tiro natural trabaja en contra, y éste es importante, o el ventilador ya estaba cercano al bombeo, finalmente trabajará en régimen inestable.

3.9.6. Leyes del ventilador

Las leyes de los ventiladores pueden aplicarse para comparar el rendimiento a una velocidad o densidades del aire distinto a la nominal, o para comparar el rendimiento de dos diferentes ventiladores, siempre que éstos sean geoméricamente similares.

Las leyes de los ventiladores están indicadas, bajo forma de relación de magnitudes, en ecuaciones que se basan en la teoría de la mecánica de fluidos, y su exactitud es suficiente para la mayoría de las aplicaciones, siempre que el diferencial de presión sea inferior a 3 kPa, por encima del cual se debe tener en cuenta la compresibilidad del gas.

Se considera N a la velocidad de rotación del ventilador. La forma en que afecta al volumen de aire movido, a la presión capaz de producir, y a la energía absorbida, constituyen las leyes de rendimiento básico de cualquier ventilador.

Para tamaños de ventiladores y densidades de aire constante constantes estas relaciones son:

- a. El caudal varía directamente con el ratio de velocidad:

$$Q \approx N$$

- b. La presión varía según el ratio de velocidad al cuadrado:

$$H \approx N^2$$

- c. La potencia varía según el ratio de la velocidad al cubo:

$$P \approx N^3$$

Estas leyes se aplican prescindiendo del sistema de unidades usadas, siempre que sean consistentes. Su importancia radica en que la resistencia del sistema contra el cual está operando el ventilador, no cambia, aunque aumentemos la velocidad del ventilador, por ejemplo al doble:

$$Q_1/Q_2 = N_1/N_2 = 1/2 > Q_2 = 2 \times Q_1 \text{ (El Caudal aumenta al doble).}$$

$$H_1/H_2 = (N_1/N_2)^2 = 1/4 > H_2 = 4 \times H_1 \text{ (La Presión aumenta 4 veces).}$$

$$P_1/P_2 = (N_1/N_2)^3 = 1/8 > P_2 = 8 \times P_1 \text{ (La Potencia aumenta 8 veces).}$$



3.10. Software VentSim Visual Avanzado ⁴

Ventsim™ es un paquete de software para sistemas de ventilación de minas subterráneas, diseñado para modelar y simular flujos de aire, presión, calor, gases, finanzas, radón, fuego y muchos otros tipos de datos de ventilación, desde un modelo de túneles y pozos.

En el software Ventsim Visual® es posible simular y diseñar redes de ventilación de minas subterráneas.

Las soluciones y métodos presentados en Ventsim, están basados en los trabajos publicados de variados autores y organizaciones de investigación durante varias décadas. Existe abundante bibliografía asociada al tema, textos de muy buena calidad como la última publicación de Malcom J. McPherson: “Subsurface Ventilation and Environmental Engineering”, texto sobre el cual Ventsim Visual® basa gran parte de la metodología para la simulación termodinámica y para otras simulaciones.

Ventsim Visual® es el sucesor de Ventsim Classic; programa desarrollado y lanzado al mercado en 1993, ampliamente aclamado por su interfaz simple y su enfoque tridimensional para elaborar modelos de ventilación.

Ventsim™ Avanzado usa modelos avanzados de flujos compresibles, incluyendo automáticamente la densidad y ajuste de la curva de ventiladores, simulación automática de ventilación natural y predicción de temperaturas y humedad resultado de los estratos de roca, auto-compresión, motores de equipo diésel y eléctricos. Íntimamente relacionadas para analizar los flujos de ventilación, calor, contaminantes, además de aspectos financieros de la ventilación de una mina.

Ventsim Visual® Avanzado ofrece herramientas para:

- Simular y entregar un registro de caudales y presiones en una mina existente.
- Ejecutar simulaciones de casos hipotéticos para nuevos desarrollos planificados.
- Ayudar en el planeamiento a corto y largo plazo de los requerimientos de la ventilación.
- Asistir en la elección de los tipos de circuitos de ventilación de la mina.
- Asistir el análisis financiero de las diferentes opciones de ventilación.
- Simular la distribución y concentraciones de humo, polvo o gas, para el planeamiento de la mina o en situaciones de emergencia.
- Llevar a cabo un completo análisis termodinámico de calor, humedad y refrigeración en minas subterráneas.
- Tomar en cuenta la compresibilidad del aire en minas muy profundas.
- Analizar múltiples opciones de tamaño de los ductos de ventilación, tanto para establecer la capacidad de ventilación como los costos de los mismos.
- Mostrar análisis dinámicos con el tipo de contaminantes, gas, gases diésel o calor que se expande por una mina a partir de diferentes actividades.
- Provee una herramienta para verificar las recirculaciones de aire en la mina.
- Simular concentraciones de Emisiones de Partículas Diésel a través de la mina.



Cada uno de los aspectos básicos del programa, posee una función necesaria para hacer que los modelos de ventilación sean más fáciles de comprender, lo que reduce la probabilidad de error. Los gráficos tridimensionales representan de manera precisa los tamaños, las formas y las ubicaciones de los conductos de ventilación. Los colores representan diversos tipos de datos (por ejemplo, temperatura o presión). Las flechas animadas muestran tanto la velocidad como la dirección de los caudales. Luego, al eliminar o reducir la necesidad de rastrear una gran cantidad de datos en forma de texto, los modelos de ventilación se pueden analizar y validar de manera mucho más rápida que mediante los métodos tradicionales.

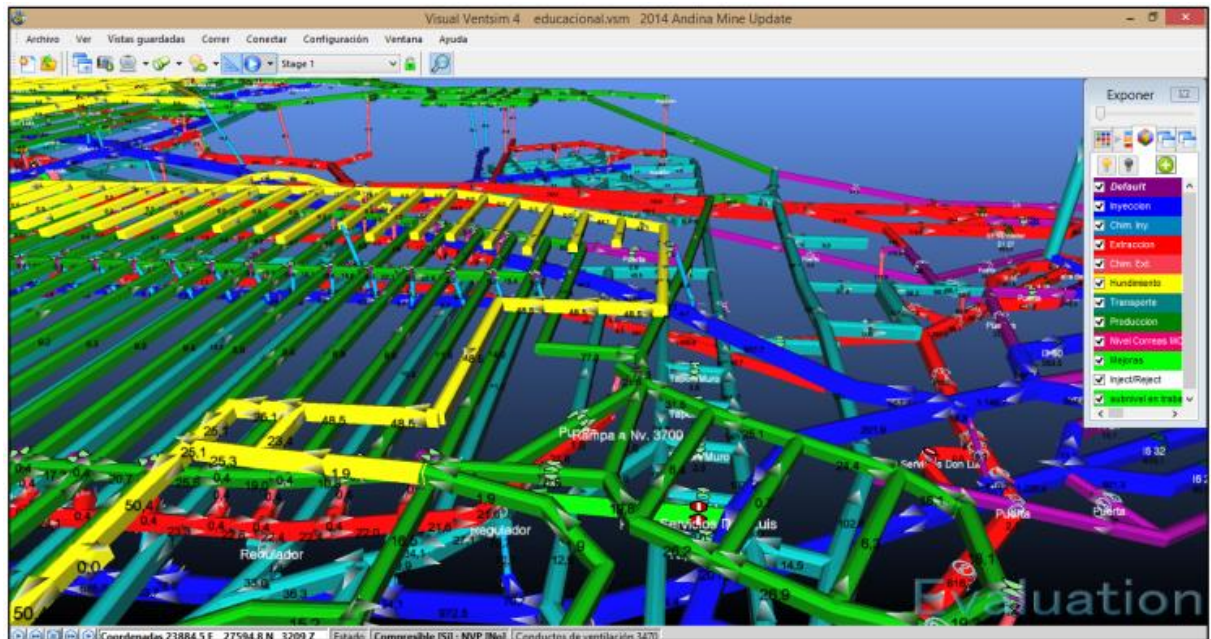


Imagen 6: Simulación con Software Ventsim Visual

Las animaciones de Ventsim Visual®, muestran una característica esencial de la forma que tiene el programa de presentar datos complejos. Al animar las flechas de flujo, los ventiladores y las fuentes de calor y enfriamiento, Ventsim Visual® es capaz de mostrar una gran cantidad de datos, de manera tal de que el cerebro humano pueda visualizarlos e interpretarlos rápidamente. Los flujos animados muestran la dirección y la velocidad relativa en todos los conductos al interior de una mina, potencialmente, con miles de conductos de ventilación. Los ventiladores animados muestran si están encendidos o apagados. Sólo mediante la animación y la coloración de datos, los usuarios de Ventsim Visual® pueden procesar y analizar modelos complejos, sin tener que interpretar una sola línea de datos textuales.



CAPITULO 4

ESTUDIO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL COMPLEJO MINERO FARALLÓN NEGRO

4.1. Sectores en explotación

Actualmente hay dos zonas en la etapa de explotación: **Veta Encuentro** y en **Alto de la Blenda: Veta Esperanza Sudeste**. El circuito de ventilación de cada una de estos sectores forma el circuito integral de la mina. Se plantea además la profundización de Veta Encuentro, llamando a este sector **Veta Encuentro Inferior**.

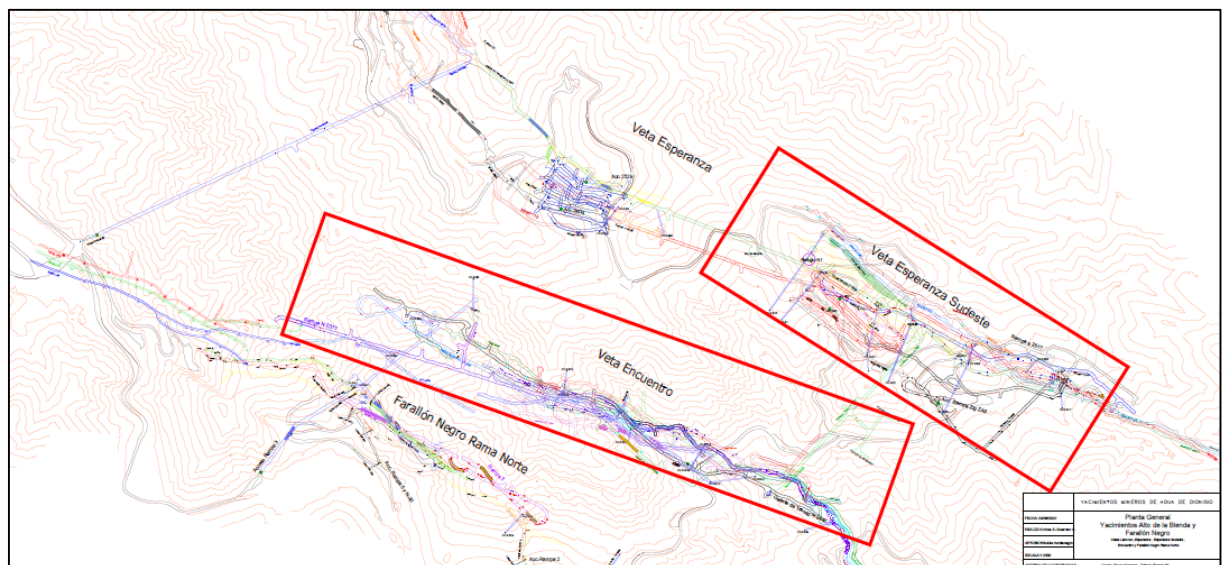


Figura 29: Planta General de Veta Esperanza SE y Veta encuentro (Plano en Anexo I)

Se cuenta con un sistema de ventilación forzada, cuyo circuito integral de ventilación opera con tres ventiladores extractores ubicados en superficie, de los cuales uno se ubica en la zona Veta Encuentro Chimenea N°33, y los dos restantes están ubicados en Veta Esperanza Sudeste, Chimeneas N°2 y N°23. Mientras que el aire limpio ingresa principalmente por rampas de acceso y chimeneas.

El estudio de sistema de ventilación de la mina se basa en determinar los caudales de aire de ingreso y salida de todo el circuito de ventilación, mediante la toma de mediciones de las velocidades de aire y de las secciones transversales en la entrada de las labores de acceso a la mina.

Además, en este estudio se calculan los requerimientos de aire para mantener una atmósfera subterránea permisible, que permita llevar a cabo todas las actividades mineras actuales, de



acuerdo al avance de las labores de desarrollo y preparación, y al cumplimiento de la explotación planificada.

4.2. Toma de mediciones

Para evaluar el caudal total de aire de ingreso y egreso a la mina, se planificó un esquema de principales estaciones para la toma de mediciones, en los ingresos por rampa y en las chimeneas, las cuales se denominan aforos de medición.



Imagen 7: Ingreso de Rampa Principal



Imagen 8: Ingreso Rampa 3



Imagen 9: Chimenea N°33 - Ventilador extractor Cirigliano 54K

Los **aforos de ventilación** son estaciones fijas en interior de mina las cuales definen una ubicación específica, permitiendo conocer la sección de la labor en dicha ubicación, como así también la velocidad del flujo.



La ubicación de aforos en interior de mina es fundamental para poder dimensionar y conocer el sistema de ventilación. A medida que se realizó la toma de datos, se materializaron los puntos fijos de medición, indicando la nomenclatura de la estación y la dirección y sentido del flujo de aire en el hastial de la labor.



Imagen 10: Aforos de medición en interior de Mina

Las estaciones de medición en superficie fueron referenciadas en los perfiles longitudinales de cada sector de explotación. (Anexo I)

4.3. Metodología de trabajo

Una vez definido el aforo de medición, para evaluar la ventilación se realizan mediciones de los siguientes parámetros:

- 1- **Velocidad del aire:** Las mediciones de velocidades de aire se llevan a cabo en las labores mineras, en base a la técnica de cuadrícula: se divide imaginariamente la galería mediante unas cuadrículas de áreas iguales, y se toma una medida de velocidad en el centro de cada una de ellas. La velocidad en el conducto es la media aritmética de las mediciones efectuadas. Las lecturas se toman con un Anemómetro de hilo caliente.



Para las secciones de dimensiones mayores a 9m^2 se tomaron 9 puntos, mientras que para secciones menores se tomaron solo 5 puntos, como indican las siguientes figuras:

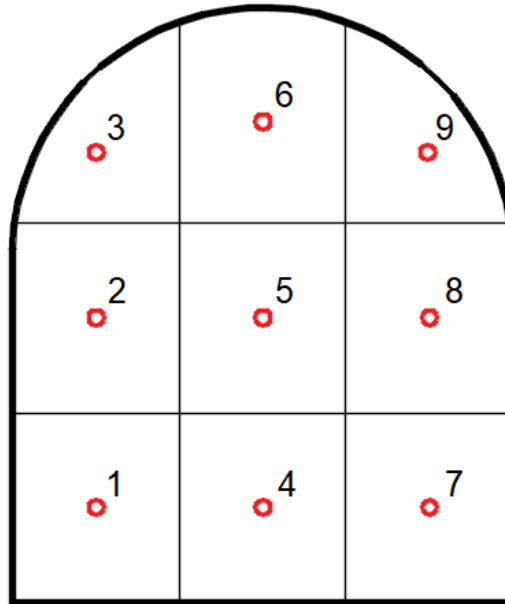


Figura 30: Esquema de medición para secciones mayores a 9m^2

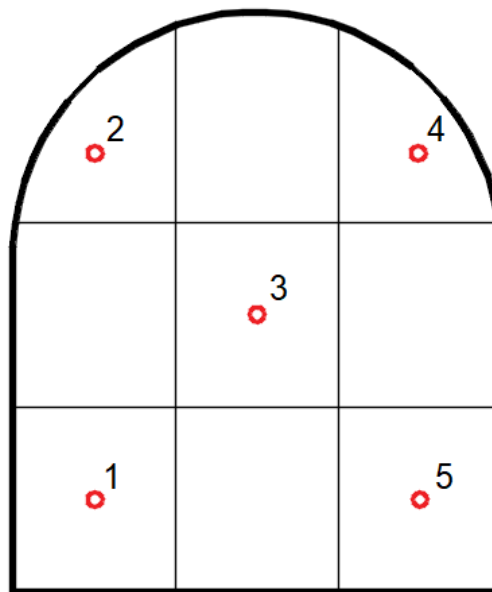


Figura 31: Esquema de medición para secciones menores a 9m^2

Los valores detectados por el equipo de medición se anotan en una Planilla de campo (Anexo II).



- 2- **Área:** Existen varios métodos para obtener el área de la sección transversal de una labor, uno de ellos es medir el ancho y alto de la labor mediante un distanciómetro. Usando estas mediciones el área de la sección transversal se puede calcular utilizando la "Regla de Simpson".

"La zona delimitada por una figura curvilínea dividida en un número par de áreas de igual ancho, es igual a un tercio de dicha medida, multiplicada por la suma de las dos alturas de extremos, el doble de la suma de las alturas impares, y cuatro veces la suma de las alturas pares".

$$\text{Área} = \frac{X}{3} (A + 2 O + 4 E)$$

Dónde:

X = Distancia equidistante (m)

A = Suma de la primera y la última altura (m)

O = Suma de las alturas impares restantes (m)

E = Suma de las alturas pares restantes (m)

Otra forma es utilizar los levantamientos topográficos, es decir los escaneos de las respectivas labores. Se marcan las estaciones de medición y se toma la sección transversal del sólido, como indican las figuras 32 y 33.

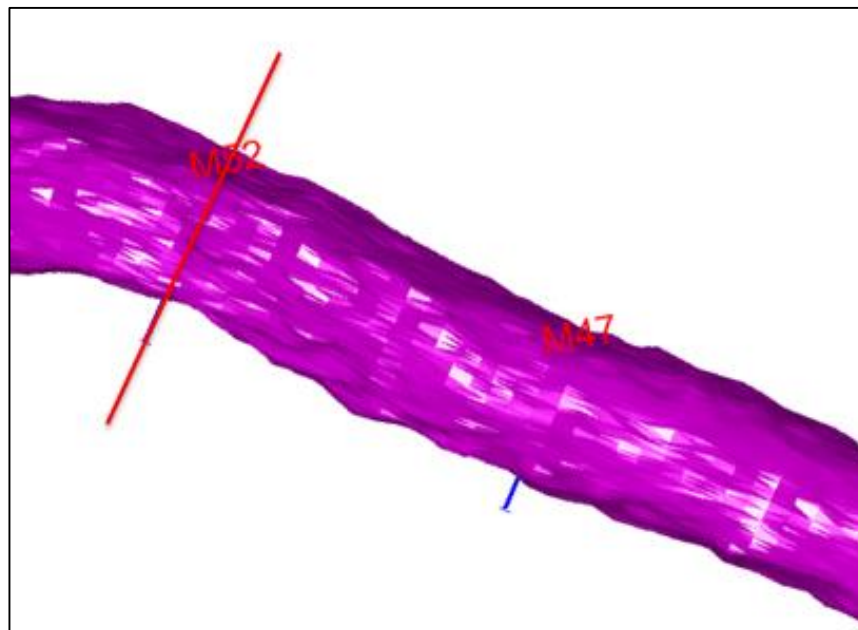


Figura 32: Vista del corte transversal realizado al sólido

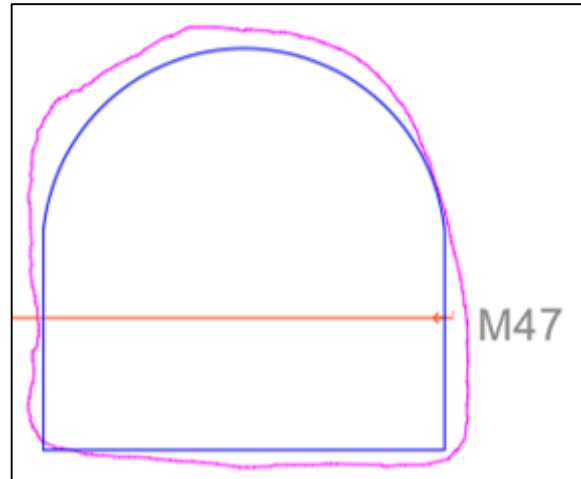


Figura 33: Corte transversal de la labor

- 3- **Temperatura:** Con el Termo-Anemómetro además de realizar la medición de la velocidad, se toma una lectura de la temperatura en el punto de estación y se registra en la planilla de campo.
- 4- **Niveles de Oxígeno y monóxido de carbono:** Se registran los valores indicados por el detector de gases al momento de la medición.

Una vez tomados estos datos en campo, se procesan luego en gabinete obteniendo el caudal correspondiente al aforo de medición.

El lugar adecuado para la medición de la velocidad del aire, deberá tener una distribución del flujo de aire laminar. La estación de medición debe realizarse en una sección transversal que pertenezca a una labor subterránea con las siguientes características:

- Que sea lo más recto posible,
- De forma y tamaño uniforme y,
- Sin obstáculos.

En una mina subterránea no siempre se cumplen estas características, de hecho, hay lugares en los que no se puede acceder por condiciones geomecánicas, por lo que hay casos en donde se deberán tomar otras mediciones adicionales, o calcular el flujo de aire en forma indirecta.



4.4. Equipos de medición

- Termo-Anemómetro con sonda de hilo caliente
- Distanciómetro Leica Disto D510
- Detector de gas Monóxido MSA – Medidor de oxígeno MSA



Imagen 11: Termo-Anemómetro con sonda de hilo caliente



Imagen 12: Distanciómetro Leica Disto D510 MSA



Imagen 13: Detector de gas Monóxido MSA – Medidor de oxígeno MSA

Sus características generales se describen en el Anexo III

4.5. Cálculo de caudal para estaciones de medición

Se realiza el promedio de las nueve velocidades medidas, definiendo la velocidad de aire promedio para el punto de medición:

$$V_p = \frac{(V_1 + V_2 + \dots + V_9)}{9}$$



Una vez obtenida la velocidad promedio, se multiplica por el área del punto de medición y obtenemos el caudal:

$$Q = V_p * A$$

Dónde:

Q = Caudal de aire en la estación (m³/s)

V_p = Velocidad promedio (m/s)

A = Área de la sección transversal de la estación (m²)

En las planillas de campo se vuelcan los valores obtenidos de las diferentes mediciones, y luego se digitalizan en el software Microsoft Excel, cargando las fórmulas correspondientes para obtener el valor del caudal con el fin de establecer los flujos de aire presentes.

4.6. Principales estaciones de medición en superficie

Las mediciones de superficie se llevaron a cabo en rampa como chimeneas, para establecer el circuito integral de ventilación de la mina Farallón Negro. Las estaciones de medición se ubicaron en labores acceso a la mina, tanto para Veta Encuentro como para Veta Esperanza SE:

CHIMENEAS		
PUNTO	SECTOR	LABOR
E-1	Veta Esperanza SE	Ch N° 17 R.B.
E-2		Ch N° 23 R.B.
E-3		Ch N° 9 R.B.
E-4		Ch N° 2 R.B.
E-5		Ch N° 25 R.B. (Prol. 11)
E-6		Ch N° 1 R.B.
E-7		Ch N° 15 R.B.
E-8	Veta Encuentro	Ch N°24 R.B.
E-9		Ch N°10 R.B.
E-10		Ch N°18 R.B.
E-11		Ch N°22 R.B.
E-12		Ch N°33 R.B.
E-13		Ch N°3 R.B.

Tabla 19: Referencias de aforos en rampa

RAMPAS	
PUNTO	LABOR
P1	Rampa principal
P2	Rampa 3 (6)
P3	Rampa zigzag

Tabla 18: Referencias de aforos en rampas

En los planos de perfil longitudinal se muestran las distintas zonas que conforman el circuito integral de ventilación, y se encuentran enumeradas las principales estaciones de medición. (Anexo I).



Principales Estaciones de Medición de Ingreso y Egreso de Aire

Se midieron en total 13 estaciones, con un total de 4 chimeneas de egreso de aire, 3 de las cuales poseen ventiladores extractores principales en superficie, instalados con ductos metálicos, que conforman el circuito integral de ventilación de la mina, siendo los principales ingresos de aire por Rampas de Accesos.

En la tabla 20 se muestran las mediciones efectuadas en cada estación: velocidades de aire y los parámetros geométricos para determinar la sección de la labor. Con estos datos se realizó el cálculo de caudal para cada estación de medición. La suma de éstos caudales, por un lado, de salida y por otro lado de ingreso, nos permitirá realizar un balance general.

Observaciones:

Durante la toma de mediciones, se observa que en la chimenea N°33 existen fugas sobre la conexión del ducto que vincula la chimenea al ventilador (Imagen 14). También se observa que la instalación presenta fugas en la base (Imagen 15 y 16). Esto hace que disminuya la eficiencia del ventilador, ya que toma aire de superficie.



Imagen 14; Imagen 15; Imagen 16: Fugas Ch N°33 RB – Veta Encuentro

En cuanto al equipo V13, instalado en la chimenea N°23, cuenta con un apoyo estático al piso que genera vibraciones.



Imagen 17; Imagen 18: Ventilador instalado en Ch N°23.



“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

PRINCIPALES ESTACIONES DE MEDICIÓN																							
PUNTO	UBICACIÓN			DETALLE	VELOCIDAD (m/s)									DIRECCIÓN DEL FLUJO	TEMP. °C	SECCION		AREA (m2)	VELOCIDAD		CAUDAL		
	VETA	Labor	Cota (msnm)		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9			a (m) ó Ø (m)	h (m)		m/s	m/min	m3/min	m3/s	CFM
P-1	Laboreo Oeste	Rampa Principal	2600	A 20m de boca mina	2,10	1,80	1,76	2,15	2,65	2,34	2,60	2,10	1,98	Ingres	17,2	5,00	4,20	19,70	2,16	129,87	2558,11	42,64	90339,01
E-1	Esperanza SE	Ch N° 17 R.B.	2718		0,41	0,60	0,58	0,31	0,28	0,40	0,60	0,70	0,75	Ingres	18,3	1,50		1,77	0,51	30,87	54,55	0,91	1926,27
E-2	Esperanza SE	Ch N° 23 R.B.	2729	Ventilador extractor en Sup.	35,00	33,60	26,00	25,90	28,00					Egres	17	0,97		0,73	29,70	1782,00	1303,32	21,72	46026,48
E-3	Esperanza SE	Ch N° 9 R.B.	2702	Obstruida de material en interior	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
E-4	Esperanza SE	Ch N° 2 R.B.	2742	Ventilador extractor en Sup. (54K)	33,50	39,00	31,00	38,00	35,30					Egres	18	1,37		1,48	35,36	2121,60	3136,62	52,28	110768,72
E-5	Esperanza SE	Ch N° 25 R.B.	2746	Prolongación Ch N°11	0,38	0,35	0,24	0,15	0,23	0,17	0,33	0,30	0,27	Egres	16,5	1,50		1,77	0,27	16,13	28,51	0,48	1006,82
E-6	Esperanza SE	Ch N° 1 R.B.	2763		1,90	1,60	2,60	2,70	2,40	1,90	1,40	1,70	1,40	Ingres	16	1,50		1,77	1,96	117,33	207,35	3,46	7322,33
E-7	Esperanza SE	Ch N° 15 R.B.	2767	Obstruida	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
P2	Encuentro	Rampa 3 (6)	2592		2,40	2,23	3,40	2,10	2,89	2,43	3,50	2,70	1,32	Ingres	16,8	4,90	4,30	19,76	2,55	153,13	3026,48	50,44	106879,06
P3	Encuentro	Rampa zigzag	2672		3,10	3,60	2,50	2,90	2,20	2,20	2,80	2,00	2,50	Ingres	16,1	4,30	4,50	18,15	2,64	158,67	2879,85	48,00	101700,95
E-8	Encuentro	Ch N°24 R.B.	2723	Obstruida	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
E-9	Encuentro	Ch N°10 R.B.	2670	Chimenea de Servicios	0,10	0,20	0,15	0,18	0,23	0,16	0,11	0,12	0,20	Ingres	15	1,50		1,77	0,16	9,67	17,08	0,28	603,26
E-10	Encuentro	Ch N°18 R.B.	2670	Chimenea de Relleno	0,71	0,49	0,48	0,63	0,54	0,50	0,47	0,45	0,56	Ingres	15,5	1,50		1,77	0,54	32,20	56,90	0,95	2009,48
E-11	Encuentro	Ch N°22 R.B.	2726	Chimenea de Relleno	0,51	0,39	0,78	0,54	0,46	0,53	0,54	0,53	0,51	Ingres	15,7	1,50		1,77	0,53	31,93	56,43	0,94	1992,84
E-12	Encuentro	Ch N°33 R.B.	2726	Ventilador extractor en Sup. (54K)	33,50	37,20	35,00	29,30	36,80					Egres	17	1,37		1,48	34,36	2061,60	3047,91	50,80	107636,12
E-13	Encuentro	Ch N°3 R.B.			0,25	0,20	0,19	0,23	0,27	0,16	0,18	0,24	0,15	Ingres	16	1,50		1,77	0,21	12,47	22,03	0,37	778,00

Tabla 20: Principales Estaciones de Medición en Superficie.



4.7. Balance de ingresos y egresos de flujo de aire

En la siguiente tabla, se muestra que el ingreso de flujo de aire a toda la mina es mayor que el flujo de salida. Su diferencia es de 48.113,07 CFM, lo que representa un 15,3% respecto al caudal de ingreso.

Caudal	m3/min	CFM
Ingreso	8.878,77	313.551,21
Egreso	7.516,36	265.438,13
Diferencia	1.362,41	48.113,07

Tabla 21: Balance de Flujo de Aire del Circuito Integral de Ventilación

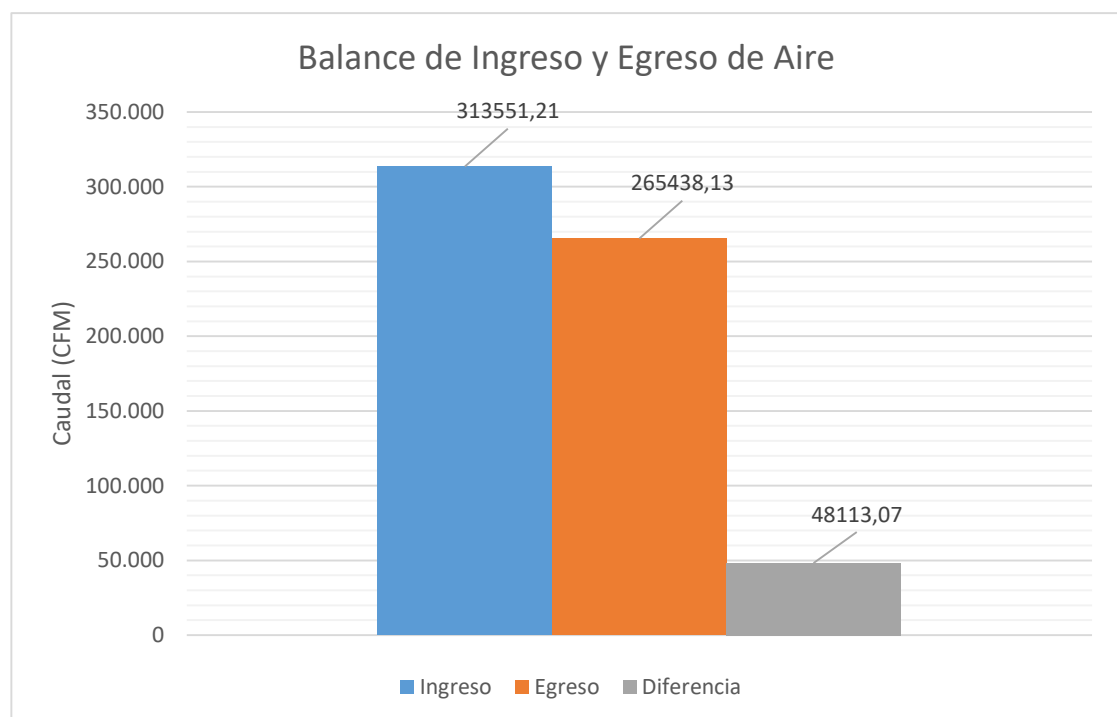


Figura 34: Balance de Flujo de Aire del Circuito Integral de Ventilación

Estos resultados indican la existencia de algunas fugas de aire por medio de labores de acceso, lo cual es muy probable, ya que hay sectores que no se encuentran en explotación, sobre todo lo que respecta a Alto de la Blenda: Veta Laboreo Oeste, Veta Laboreo, Veta Esperanza y Veta Esperanza Sudeste, sector superior al N 2517. Estas zonas son de difícil acceso, por las condiciones geomecánicas que presentan en la actualidad.

4.8. Cálculos de requerimiento de aire

Se debe proveer la cantidad de aire suficiente para diluir los contaminantes a niveles permisibles, y brindar confort a los operarios para que puedan llevar a cabo sus actividades con seguridad. Además, debemos cumplir con los requerimientos exigidos por el "Reglamento Nacional de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera". Decreto 249/2007.



Para ello debemos calcular el requerimiento global de aire para el circuito integra de la mina:

I. Cálculo del Requerimiento de Aire para el Personal

El "Reglamento Nacional de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera". Decreto 249/2007 exige un requerimiento mínimo de aire para el personal minero de 3 m³/min por persona, al igual que la Ley Provincial 2233 - Decreto E. N° 615/88- Art. 95°. Sin embargo se debe considerar la altura sobre el nivel del mar en la que se encuentra la mina.

Mina Farallón Negro se encuentra a 2600msnm. Por lo que según el "Reglamento Peruano de Seguridad y Salud Ocupacional" y otras medidas complementarias en minería - Decreto Supremo N° 055-2010-EM en su Artículo 236: De 1.500 a 3.000 msnm, aumentará en 40% que será igual a **4 m³/min**.

Requerimiento de caudal según el número de trabajadores:

$$Q_1 = F * N$$

Dónde:

Q_1 = Caudal total para "n" personas que trabajen en interior mina (m³/ min)

F = Caudal mínimo por persona (4 m³/ min)

N = Número de personas en el lugar.

La mina tiene una organización de dos turnos de 12hs, los cuales se denominan turno día y turno noche. El personal minero en un turno de trabajo permanece dentro de la mina 7 horas con 50 minutos. Así mismo los trabajadores deben evacuar la mina en los horarios de voladura.

En la siguiente tabla, se resume el cálculo para determinar el caudal de aire requerido para los trabajadores que pertenecen al turno día. Tanto personal directo que ingresa el total de horas operativas a la mina, e indirecto que ingresa menos tiempo, contabilizando un total de 53 trabajadores que requieren un caudal de **7.486,8 CFM**.



REQUERIMIENTO DE AIRE PARA PERSONAL INTERIOR DE MINA					
Turno "A"			Día		
Caudal requerido por persona (m3/min):			4		
ÁREA	CARGO	TOTAL/ TURNO	CAUDAL REQUERIDO		% DISTRIBUIDO
			m3/min	CFM	
MINA	Jefatura	2	8	282,5	3,8%
	Supervisores	2	8	282,5	3,8%
	Operarios	27	108	3.814,0	50,9%
GEOLOGÍA	Jefatura	1	4	141,3	1,9%
	Geólogo	1	4	141,3	1,9%
	Asistente	1	4	141,3	1,9%
	Muestreros	2	8	282,5	3,8%
GEOMECÁNICA	Jefatura	1	4	141,3	1,9%
	Geomecánico	1	4	141,3	1,9%
PLANEAMIENTO	Jefatura	1	4	141,3	1,9%
	Asistente	1	4	141,3	1,9%
SEGURIDAD	Jefatura	1	4	141,3	1,9%
	Seguridad	1	4	141,3	1,9%
ELECTROMECA NICA	Mecánicos	2	8	282,5	3,8%
TRANSPORTE	Maquinista	1	4	141,3	1,9%
	Camioneros	6	24	847,6	11,3%
	Supervisor	1	4	141,3	1,9%
	Camión-Servicio	1	4	141,3	1,9%
TOTAL		53	212	7.486,8	100%

Tabla 22: Requerimiento de Aire para el Personal

II. Cálculo de Requerimiento de Aire para Equipo Diésel

Según el “Reglamento Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo” Resolución 295/2003, se debe suministrar la cantidad de aire necesaria. La condición básica, es que el caudal de aire sea lo suficiente para diluir los gases de escape y el material particulado diésel, por debajo de cada uno de sus respectivos valores máximos permisibles.

El caudal de aire requerido para la dilución de los contaminantes emitidos por equipos diésel, que operan en el interior del circuito integral de ventilación de la mina Farallón Negro, se basa en las exigencias del “Reglamento Chileno de Seguridad Minera” - Decreto Supremo N° 132, referente a la potencia efectiva del motor diésel, el cual indica: “el caudal de aire requerido para los equipos diésel que operan en el circuito integral de ventilación, es igual a **2,83 m3/min** por cada HP de potencia efectiva desarrollado por el motor diésel”.

$$Q_2 = \sum \text{Potencia Efectiva del Motor} * 2.83 \text{ m}^3/\text{min}$$

Q_2 = Cantidad de aire requerido para equipos diésel (m³/ min)



Potencia Efectiva del Equipo Diésel:

La potencia efectiva del equipo diésel, es la potencia real que desarrolla el motor del equipo en el interior de mina, el cual depende los siguientes factores:

- Los equipos diésel generalmente no desarrollan el 100% de su potencia nominal al operar en el interior de mina. Por los tanto, para determinar su potencia nominal desarrollada (PND), se utiliza el 80% de su potencia nominal (PN).
- Un equipo diésel en buenas condiciones mecánicas, raras veces opera todo el turno de trabajo, la utilización del equipo diésel es medido con el factor de utilidad (F.U.) definido como:

$$F.U. = \frac{\text{Horas de Operación}}{\text{Horas de Operación} + \text{Horas de Reserva}}$$

Dónde:

Horas de operación = Horas en que el equipo está funcionando.

Horas en reserva = Horas en que el equipo está apagado por no tener operador o frente donde operar, pero que está condiciones para operar.

La potencia efectiva de un equipo diésel, entonces, es calculado mediante la multiplicación de su potencia nominal con los dos factores mencionados:

$$\text{Potencia Efectiva} = PN * PND * F.U.$$

Donde:

PN = Potencia Nominal

PND = Potencia Nominal Desarrollada

$F.U.$ = Factor de Utilidad

La Tabla 23 muestra un resumen del caudal de aire requerido para todos los equipos diésel, que operan en el circuito integral de ventilación de la mina y los parámetros que se utilizaron para determinar el mismo.

Si bien el caudal necesario por requerimiento de equipos diésel es de **226.527,12 CFM**, se considera que es un consumo máximo, pero no todos los equipos operan de manera simultánea en su totalidad, por lo que en la realidad este caudal necesario es menor.



“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

REQUERIMIENTO DE AIRE PARA EQUIPOS INTERIOR DE MINA														
Turno "A"								Día						
Caudal requerido para los equipos diesel por HP (m3/min):								2,83						
Equipo	Empresa	Marca	Modelo	Cant.	Pot. Nominal (CV)	Pot. Nominal (HP)	Suma de Pot. Nominal (HP)	F.U.	Pot. Nominal Desarrollada	Pot. De Motor Efectiva (HP)	Caudal Requerido (m3/min)	Caudal Requerido (CFM)	Caudal Total (CFM)	Distribución (%)
Camionetas	YMAD - Mina	Toyota	Hilux 4x4 / 4 Cil.	2	180,00	177,55	355,10	0,60	0,80	170,45	482,37	17034,66	40260,15	17,8%
		Ford	Ranger 4 cil/ 3	1	173,00	170,65	170,65	0,50	0,80	68,26	193,17	6821,75		
	YMAD - Geología	Toyota	Hilux 4x4	1	120,00	118,37	118,37	0,40	0,80	37,88	107,19	3785,48		
		Toyota	Hilux 4x4	1	120,00	118,37	118,37	0,40	0,80	37,88	107,19	3785,48		
	YMAD - Seguridad	Ford	Ranger 4cil/ 2.8	1	140,00	138,09	138,09	0,40	0,80	44,19	125,06	4416,39		
YMAD - Transporte	Ford	Ranger 4cil/ 2.8	1	140,00	138,09	138,09	0,40	0,80	44,19	125,06	4416,39			
Jumbos	YMAD	Atlas Copco	BOOMER 281	1	76,04	75,00	75,00	0,20	0,80	12,00	33,96	1199,29	8554,76	3,8%
		Atlas Copco	BOOMER S1D	2	78,87	77,80	155,60	0,20	0,80	24,90	70,46	2488,12		
		Sandvik/ Tamrock	QUASAR DD210	2	74,77	73,75	147,50	0,20	0,80	23,60	66,79	2358,60		
		Sandvik/ Tamrock	AXERA DD310	1	84,29	83,14	83,14	0,20	0,80	13,30	37,65	1329,45		
		Atlas Copco	SIMBA S7D	1	74,77	73,75	73,75	0,20	0,80	11,80	33,39	1179,30		
Cargadoras bajo perfil	YMAD	Atlas Copco	WAGNER ST 2G	6	110,50	109,00	654,00	0,75	0,80	392,40	1110,49	39216,69	73936,06	32,6%
		Atlas Copco	WAGNER ST7	3	195,66	193,00	579,00	0,75	0,80	347,40	983,14	34719,36		
Equipos de elevación	YMAD	Bobcat		2	49,63	48,95	97,90	0,40	0,80	31,33	88,66	3130,94	6776,13	3,0%
		Merlo		1	115,55	113,98	113,98	0,40	0,80	36,47	103,22	3645,19		
Tojeador automático	YMAD	Atlas Copco	SCALETEC UV2	1	121,66	120,00	120,00	0,20	0,80	19,20	54,34	1918,86	1918,86	0,8%
Camiones	Contratista	Volvo	320	4	320,00	315,64	1262,58	0,65	0,80	656,54	1858,01	65614,98	90260,03	39,8%
		Ford	Cargo 1722	1	220,00	217,01	217,01	0,60	0,80	104,16	294,78	10410,07		
		Ford	Cargo 1723	1	230,00	226,87	226,87	0,60	0,80	108,90	308,18	10883,25		
	YMAD - Transporte - Servicio	Ford	Cargo 1517	1	170,00	167,69	167,69	0,25	0,80	33,54	94,91	3351,73		
Maquina - cargadora	YMAD - Transporte	Caterpillar	924	1	122,26	120,60	120,60	0,50	0,80	48,24	136,52	4821,13	4821,13	2,1%
TOTAL				35	2917,00	2877,29	5133,27			2266,62	6414,53	226527,12	226527,12	100%

Tabla 23: Requerimiento de Aire para Equipo Diésel



III. Caudal requerido por desprendimiento de gases de voladura

En la mina se contemplan 2 horarios de voladuras por turno.

Turno	Horarios de voladura	
Día	12:40h	18:50h
Noche	00:40h	06:20h

Tabla 24: Horarios de voladura

El tiempo de ventilación para dilución de gases es de una hora.

El cálculo del caudal requerido según el consumo de explosivos se basa en la fórmula de Novitsky.

$$Q_3 = \frac{100 * a * A}{0,008 * t}$$

Dónde:

Q_3 = Caudal de aire requerido según el consumo de explosivos (m³/ min)

a = Volumen de gases generados por cada kg de explosivo. Valor sugerido: 0,04 (m³/kg de explosivo)

A = Cantidad de explosivo por pega (kg)

t = Tiempo de ventilación (min)

Donde el parámetro (a) no debe exceder los 0,15 m³ de gases tóxicos por kilogramo de explosivo.

Características de los explosivos, agente de voladura y accesorios utilizados:

Explosivos/ Agente de voladura/ Accesorios	Unidad	Peso por unidad (kg)
Gelamón ø 32mm 65%	Unid.	0,2465
Cordón detonante N°5	m	0,0171
Cordón detonante N°40	m	0,0667
ANFO explosivo	1 bolsa	25,000
Mecha lenta de seguridad	m	0,0245
Capsula detonante N°8	Unid.	0,1450

Tabla 25: Pesos por unidad

Fichas Técnicas en Anexo V.

Se planifican 4 pegas por día, es decir 2 por turno de frentes de avance. Se tomaron 2 niveles de ejemplo de desarrollo en veta para el cálculo, ya que se maneja en todos los frentes de trabajo un mismo diagrama y un factor de carga similar.

Además, se toma una voladura de cámara por turno. Si bien la cantidad de explosivo será de acuerdo a las dimensiones de la cámara y la cantidad de filas, se toma un promedio de las mismas.



En las siguientes tablas se muestran los consumos totales de explosivos, agente de voladura y accesorios equivalentes en kilogramos, tanto para frentes de desarrollo como para cámaras:

Consumo de Explosivos en Desarrollos en Veta							
Turno	Veta	Nivel	Explosivos/ Agente de voladura/Accesorios	Unidad	Peso por unidad (kg)	Consumo por turno (Unid)	Consumo Total por turno (kg)
"A" - Día	Veta Encuentro	2600SE 2507	Gelamón ø 32mm 65%	Unid.	0,2465	42	10,35
			Cordón detonante N°5	M	0,0171	51	0,87
			Cordón detonante N°40	M	0,0667	72	4,80
			ANFO explosivo	1 bolsa	25,000	6	150,00
			Mecha lenta de seguridad	M	0,0245	16	0,39
			Capsula detonante N°8	Unid.	0,1450	4	0,58
						Total	167,00

Tabla 26: Consumo de Explosivos en Desarrollos en Veta

Consumo de Explosivos en Cámaras							
Turno	Veta	Nivel	Explosivos/ Agente de voladura/Accesorios	Unidad	Peso por unidad (kg)	Consumo por turno (Unid)	Consumo Total por turno (kg)
"A" - Día	Veta Encuentro	Bloque 9	Gelamón ø 32mm 65%	Unid.	0,2465	7	1,73
			Cordón detonante N°5	M	0,0171	10	0,17
			Cordón detonante N°40	M	0,0667	0	0,00
			ANFO explosivo	1 bolsa	25,000	7	175,00
			Mecha lenta de seguridad	M	0,0245	6	0,15
			Capsula detonante N°8	Unid.	0,1450	2	0,29
						Total	177,33

Tabla 27: Consumo de Explosivos en Cámara

Cálculos de caudal requerido por requerido por desprendimiento de gases de voladura en 2 frentes de trabajo:

$$Q_{3a} = \frac{100 * 0,04m^3/kg * 167kg}{0,008 * 60min}$$

$$Q_{3a} = 1.391,66 m^3/kg$$

$$Q_{3a} = 49.146,08 CFM$$

Cálculos de caudal requerido por requerido por desprendimiento de gases de voladura en cámara:

$$Q_{3b} = \frac{100 * 0,04m^3/kg * 177,33kg}{0,008 * 90min}$$

$$Q_{3b} = 1.477,78 m^3/kg$$



$$Q_{3b} = 52.187,45 \text{ CFM}$$

Sumando los dos caudales obtenemos el caudal requerido por desprendimiento de gases de voladura total por turno:

$$Q_3 = Q_{3a} + Q_{3b}$$

$$Q_3 = 101.333,53 \text{ CFM}$$

Cabe destacar que, en realidad, los gases de la explosión no se diluyen en un espacio cerrado; pero, una parte de ellos se elimina continuamente del frente por el flujo de aire (lo que no prevé la fórmula) y, además, los gases tóxicos se diluyen continuamente en contacto con la nube de gases en movimiento con el aire limpio (tampoco toma en cuenta la fórmula). Así que los gases se diluyen más rápidamente de lo que se prevé en la teoría

IV. *Factor de Seguridad*

En el diseño del sistema de ventilación de una mina, hay ciertas variables que no pueden ser medidas ni controladas. Éstas, en el cálculo de caudales, son incorporadas bajo el nombre de factor de seguridad. Se considera un valor del 10%.

V. *Requerimiento total de aire para Mina Farallón Negro*

En base a los cálculos realizados anteriormente de caudales requeridos: para el personal, equipos diésel y consumo de explosivos para el circuito integral de ventilación, y con la finalidad de mantener diluidos los gases tóxicos a niveles permisibles y brindar confort a los trabajadores, se estima el requerimiento global de flujo de aire para la mina.

Es importante destacar que en los horarios de voladuras los operarios son evacuados de la mina, por lo que los equipos diésel tampoco están en funcionamiento. Esto hace que la emisión de gases tanto de equipos diésel como de voladura no se dé simultáneamente. Recordando que este último es un requerimiento temporal.

Después de la voladura se espera una hora y media para que el lugar sea ventilado, y así los gases de la explosión sean diluidos, para que el operario pueda ingresar a mina y al frente de trabajo a continuar con sus operaciones; por lo tanto, en el transcurso del tiempo de espera, el caudal de aire calculado para el personal y el equipo diésel no son requeridos.

Cabe aclarar, que mientras el personal minero y los equipos diésel se encuentren en operación en interior de mina, no se producirá ninguna voladura. Entonces para ésta situación, los requerimientos de caudal de aire para el circuito de ventilación será sólo para el personal y los equipos diésel.

Además de las circunstancias mencionadas, se destaca que los ventiladores principales trabajan las 24 horas del día, sin una variación considerable de caudal de aire. Por lo tanto, el requerimiento global de aire para la mina es seleccionado con el siguiente criterio:

Se suma por un lado los valores de caudales requeridos por personal y por equipos diésel, y se compara con el valor requerido por el consumo de explosivos. El mayor valor es



considerado y se aplica un factor de seguridad del 10%, esto dará como resultado el requerimiento global de la mina.

Caudal Requerido		m3/min	CFM	Total CFM
Q_1	Por personal (53 trabajadores)	212,00	7.486,78	234.013,90
Q_2	Por equipos diésel (2266,62HP)	6.414,53	226.527,12	
Q_3	Por desprendimiento de gases de voladura (344,33kg – 60min)	2.869,44	101.333,53	101.333,53

Tabla 28: Comparación de caudales requeridos

Como se puede observar en la Tabla 28, la suma del caudal requerido por personal y equipos diésel ($Q_1 + Q_2$), es mayor que el caudal requerido por consumo de explosivos (Q_3), incluso aun si se realizara el doble de las voladuras consideradas.

Caudal global de aire requerido para Mina Farallón Negro:

$$Q_1 + Q_2 + 10\% (Q_1 + Q_2) = Q_1 + Q_2 + Q_4$$

$$7486,78 + 226527,116 + 23401,39 = \mathbf{257.415,29\ CFM}$$

Caudal de Aire Total Requerido		m3/min	CFM	Total CFM
Q_1	Por personal (53 trabajadores)	212,00	7.486,78	234.013,90
Q_2	Por equipos diésel (2266,62HP)	6.414,53	226.527,116	
Q_3	Por desprendimiento de gases de voladura (344,33kg – 60min)	2.869,44	101.333,535	101.333,53
Q_4	Factor de Seguridad (10%)	662,65	23.401,39	23.401,39
Total	$Q_1 + Q_2 + Q_4$	7.289,18		257.415,29

Tabla 29: Caudal de aire total requerido

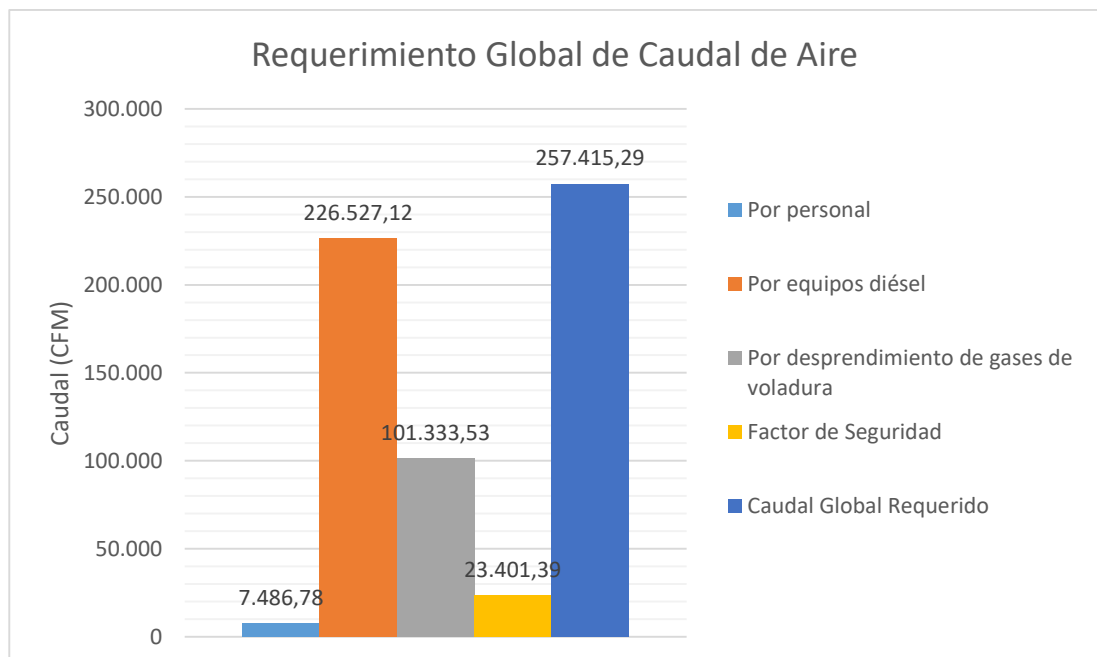


Figura 35: Requerimiento Global de Caudal de Aire



4.9. Cobertura de Aire para la Mina Farallón Negro

Se evalúa a continuación la cobertura de caudal de aire de la mina, es decir se compara el caudal de aire fresco que ingresa a mina con el requerimiento global de caudal de aire. Esto permite realizar un análisis sobre las condiciones actuales del circuito integral de ventilación de la mina y ayuda a la planificación de la ventilación en conjunto con la planificación de desarrollo y producción de los próximos periodos.

- Caudal de aire ingresa a mina: 313.551,21 CFM
- Caudal global de aire requerido: 257.415,29 CFM
- Diferencia: **56.135,92 CFM.**

Como se puede observar, es mayor el caudal de aire fresco que ingresa a mina, cubriendo en su totalidad el caudal de aire requerido, que es un 82,1% del aire que ingresa.

Se analiza además que el exceso de aire es de un 17,9%. Si bien es un margen suficiente de seguridad para las operaciones que se llevan a cabo en la actualidad, tanto en Veta Encuentro como en Veta Esperanza SE, es un porcentaje de margen bajo para ampliar operaciones de explotación del sector de Veta Encuentro Inferior, en donde la ventilación es escasa.



4.10. Ventiladores Principales

El circuito integral de ventilación de mina en Farallón Negro, posee tres ventiladores principales operando en superficie, instalados como extractores. Su distribución es la siguiente:

- Veta Encuentro
 - Chimenea N°33 R.B.: Ventilador Cirigliano Modelo 54K
- Veta Esperanza Sudeste
 - Chimenea N°2 R.B.: Ventilador Cirigliano Modelo 54K
 - Chimenea N°23 R.B.: Ventilador Cirigliano Modelo 48J

Características extraídas de la placa del ventilador principal instalado en la chimenea N°33:

- Modelo: 54K
- Diámetro: 1372 mm
- Ángulo de pala: 28°
- Revoluciones por minuto: 1485
- Potencia: 92kW
- Amper: 167/97
- Voltaje: 380/660
- Fase 3 – Ciclo 50 Hz

El ventilador ubicado en la chimenea N°23 no contiene placa con especificaciones:

- Modelo: 48J
- Diámetro: 1219 mm
- Ángulo de pala 32°, modificado a 28°.

Las curvas características de los equipos de ventilación se detallan en el Anexo III.



CAPITULO 5

ESTUDIO Y ANALISIS DE SECTORES PUNTUALES DE LA MINA

Mediante el análisis realizado en el capítulo 4, se determina que el requerimiento global de flujo de aire para la mina, con un factor de seguridad del 10% es de 257.415,29 CFM y el caudal que ingresa a mina es de 313.551,21 CFM. Esto indica que es mayor el caudal de aire fresco que ingresa a mina, cubriendo en su totalidad el caudal de aire requerido, que es un 82,1%, quedando un exceso de aire fresco disponible de 17,9%.

Se demuestra que el caudal de aire que ingresa a la mina es suficiente para llevar a cabo las actividades. Sin embargo, se observaron problemas puntuales en sectores y/o niveles de la mina que requieren un estudio con mayor detalle.

5.1. Estaciones de medición en interior de mina

Se ubicaron diferentes aforos de medición en interior de mina, tanto en Veta Encuentro como en Veta Esperanza SE, con el objetivo de analizar los problemas de distribución de caudal de aire. Las mediciones de velocidades, secciones, concentraciones de monóxido, porcentaje de oxígeno, se registraron en planillas de campo, como así también los cálculos de caudales (Anexo II). Las siguientes tablas indican referencias de los puntos de medición y su ubicación:

VETA ENCUENTRO			
Punto	Ubicación		
	Nivel	Labor	Detalle
V1	2600	Rampa zigzag	Antes de chimenea de servicios N°9
V2	2600	Estocada	Ingreso chimenea 9 de servicios
V3	2600	Rampa Zigzag	Antes de los 2 niveles
V4	2600	Chimenea N°33	Ingreso a la chimenea , a 5m de la entrada
V5	2600 NO	Galería de producción	A 11m del ingreso
V6	2600SE	Galería de producción	A 9,6m del ingreso
V7	2600	Rampa Zigzag	Pasando los 2 niveles
V8	2566 NO		En el ingreso - sin flujo
V9	2566 NO	Rampa Zigzag	Pasando el nivel 2566 NO
V10	2566 SE	Rampa Zigzag	Pasando el nivel 2566 SE
V11	Rampa 6	Rampa 6	Antes de conectar con las otras labores
V12	Rampa 6	Rampa 6+ zigzag	Bajando al N2552
V13	2515 SE	Chimenea N°33	Acceso a chimenea
V14	2515	Rampa Acceso al N2515	Pasando el acceso
V15	2515	Rampa Acceso al N2515	Antes del acceso al nivel
V16	2515	Acceso al N2487	Continuación del acceso al N2515
V17	2507	Acceso al N2507	Antes de las cámaras (abierta al N2487)
V18	2487 NO	Chimenea N°33	(Cámara abierta)
V19	2487	Rampa	Pasando el ingreso a la labor

Tabla 30: Aforos de medición – Veta Encuentro



VETA ESPERANZA SUDESTE			
Punto	Ubicación		
	Nivel	Labor	Detalle
V1E	2517	Pasando Subestación	Antes del tapado en Ch N°23
V2E	2517	Rampa Acceso	Al N2446 V. Encuentro
V3E	2517	Rampa Acceso	Antes de Rampa Ac. A Veta Encuentro
V4E	2517	Rampa Principal	Antes del ingreso al N2497
V5E	2517	Rampa Acceso	Ingresando a niveles inferiores
V6E	2497	Acceso al 2497 NO y SE	Ingreso al Nivel
V7E	2497	Rampa Acceso	Pasando el N2497
V8E	2497	Rampa Acceso	Chimenea N°27
V9E	2477 SE	Acceso al N2477 SE	Ingreso al Nivel
V10E	2477 SE	Rampa Acceso	Pasando el N2477 SE
V11E	2477 NO	Acceso al N2477 NO	Ingreso al Nivel
V12E	2477	Rampa Acceso al N2451	Pasando el N 2477 NO
V13E	2460	Acceso a los N2460 NO y SE	Tope ciego - sin conexiones aún
V14E	2460	Rampa Acceso al N2451	Pasando el N2460
V15E	2451 SE		Ingreso al Nivel
V16E	2451 NO		Ingreso al Nivel

Tabla 31: Aforos de medición – Veta Encuentro

5.2. Sectores de Veta Encuentro

5.2.1. Rampa Zigzag

Se realizó un recorrido en el sector, hasta donde permitía el acceso, ya que es una labor inactiva que requiere previo saneo para poder ingresar. Se observaron montículos de material que obstruyen el paso del aire a labores inferiores.

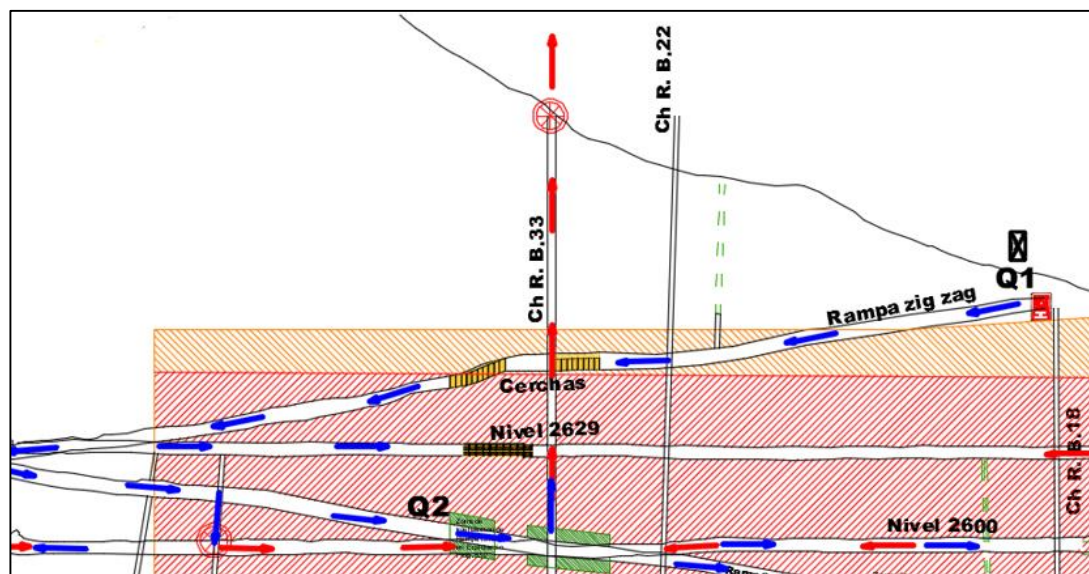


Figura 36: Perfil longitudinal Rampa Zigzag - Caudales



Se tomaron las medidas de velocidades y sección al ingreso de la Rampa, las cuales permitieron calcular el caudal que ingresa (Q_1). Se realizó lo mismo en el N 2600, nivel más próximo en actividad (Q_2). La siguiente tabla muestra los valores obtenidos:

Caudales			
Q1		Q2	
2.879,85 m ³ /min	101.700,95 CFM	459,70 m ³ /min	16.234,17 CFM

Tabla 32: Caudales de aire Rampa Zigzag y N2600.

Como se puede observar, se produce una gran pérdida de caudal de aire fresco hasta llegar a los niveles 2600 en producción, precisamente de 85.466,78 CFM.

Esto se debe a dos razones, por un lado, por montículos de material que obstruyen el paso del aire y por otro lado, la conexión existente por rampa a la chimenea N° 22, que es por donde escapa parte del flujo de aire, como muestra la Figura N° 37, simulación de flujos realizada en el Software Ventsim.



Figura 37: Simulación de flujos Rampa Zigzag

5.2.2. Recirculación de Aire por chimenea N°33

La chimenea N°33, que posee un extractor en superficie, se encuentra conectada en el nivel 2600. El problema radica en que el aire limpio que ingresa por Rampa Zigzag, se suma al aire viciado generado por los niveles 2600 en producción, y se direcciona a la conexión de dicha chimenea, que no posee ningún cerramiento y es extraído a superficie. Esto se puede observar en la Figura N° 38.

La medida de caudal en el ingreso a la chimenea (Q_3) en ese nivel es de 841,57 m³/min, es decir, 29.719,79 CFM.

En la siguiente figura se observa la dirección de los flujos de aire, en azul el aire limpio y en rojo el aire viciado.

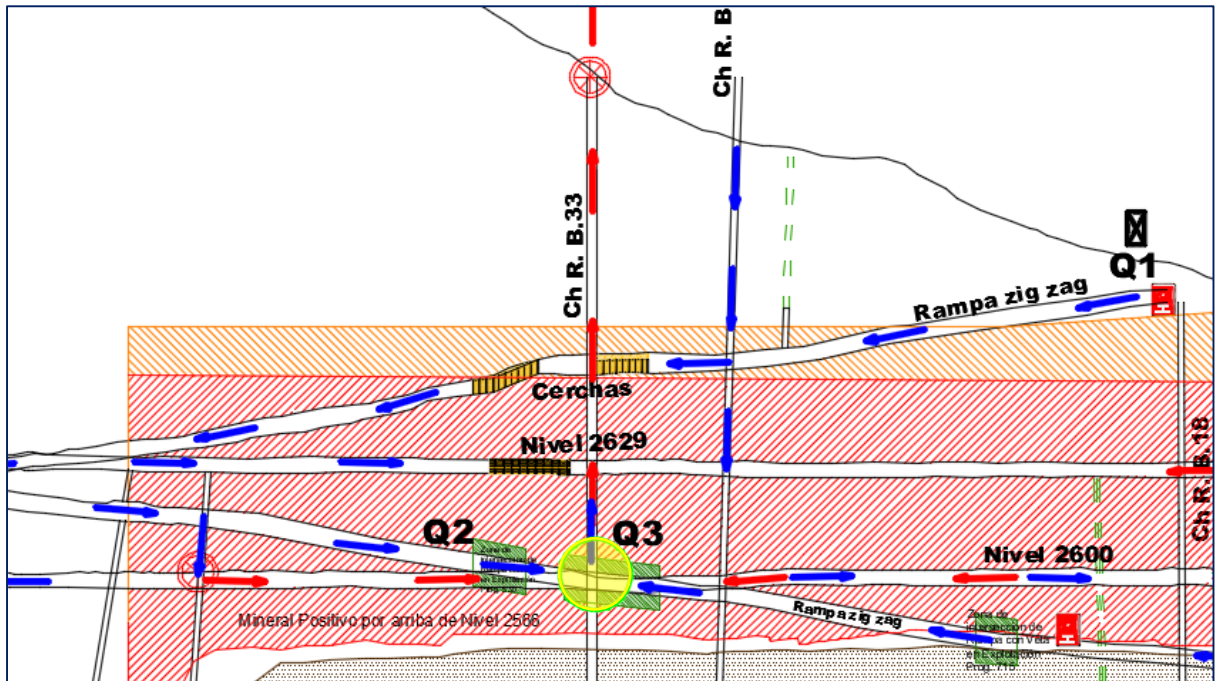


Figura 38: Dirección de flujos en inmediaciones de la Ch N°33

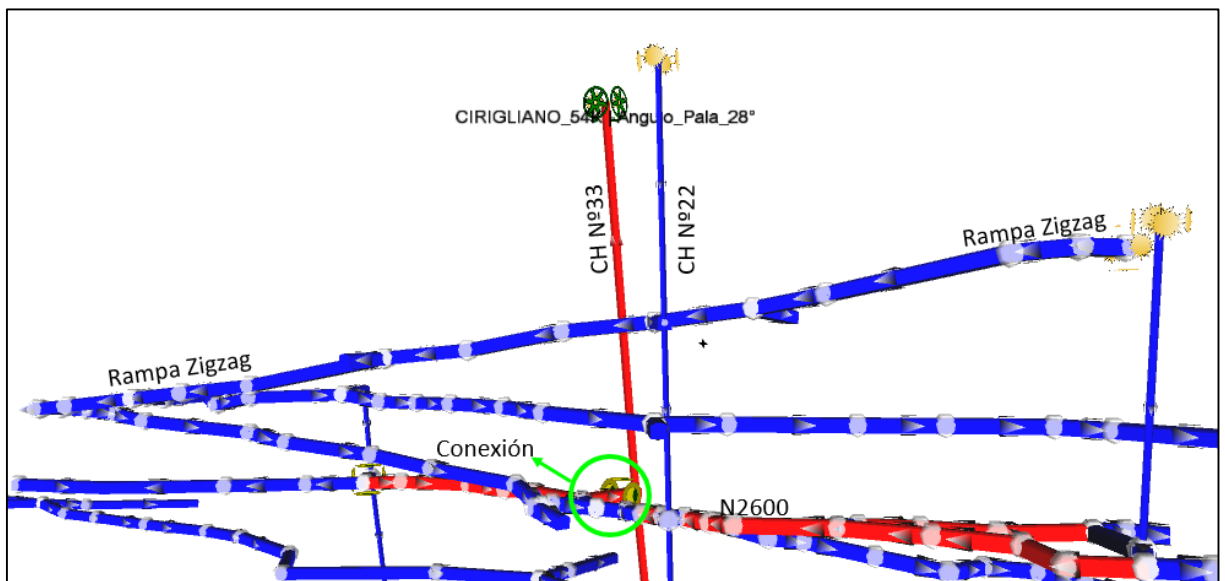


Figura 39: Simulación de flujos inmediaciones de Chimenea N°33

Por otro lado, el aire que ingresa por Rampa 3 (Q₄), figura N°40, es el aire a ser utilizado en el Nivel en producción 2552 y niveles inferiores. El caudal que llega a estos niveles (Q₅), es menor al que llega por rampa, como se indica en la tabla N° 33, ya que parte de éste último sube hacia el N 2600, siendo extraído a superficie por la Ch N°33.

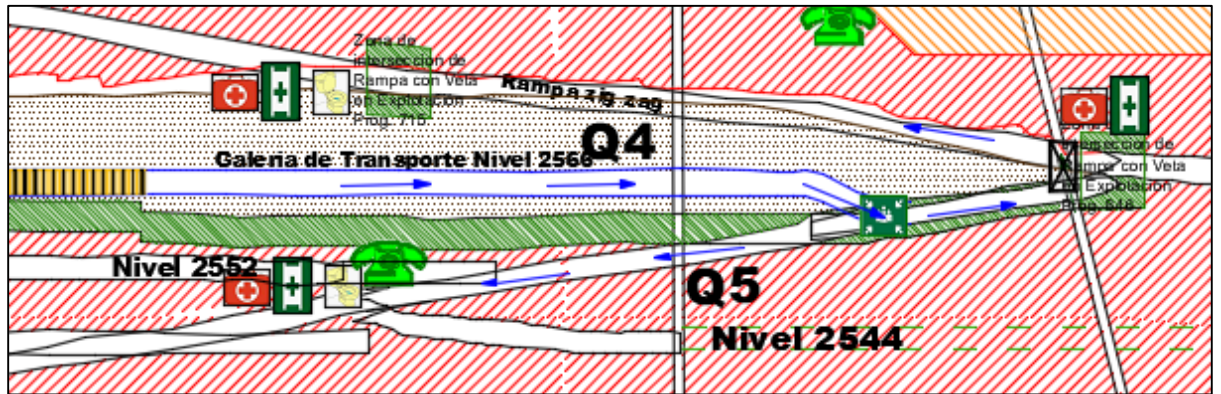


Figura 40: Distribución de caudal que ingresa por Rampa 3

Caudales			
Q4		Q5	
849,63 m ³ /min	30.004,43 CFM	654,15 m ³ /min	23.101,11 CFM

Tabla 33: Caudal de rampa 3 y niveles inferiores

5.2.3. Nivel 2552

En Rampa zigzag se encuentra instalado un ventilador inyector Cirigliano de 22kW de potencia (imagen 19).

Este equipo tiene la función de inyectar aire fresco al nivel 2552; el problema es que se encuentra instalado en dirección contraria al flujo de aire fresco, inyectando aire viciado que sale del propio nivel, es decir, que se está produciendo una recirculación de aire viciado, aumentando considerablemente el tiempo de ventilación para dilución de los contaminantes generados.



Imagen 19: Ventilador inyector N2552



La siguiente figura muestra la dirección de los flujos de aire fresco (flechas azules), en donde se puede observar lo anteriormente descrito.

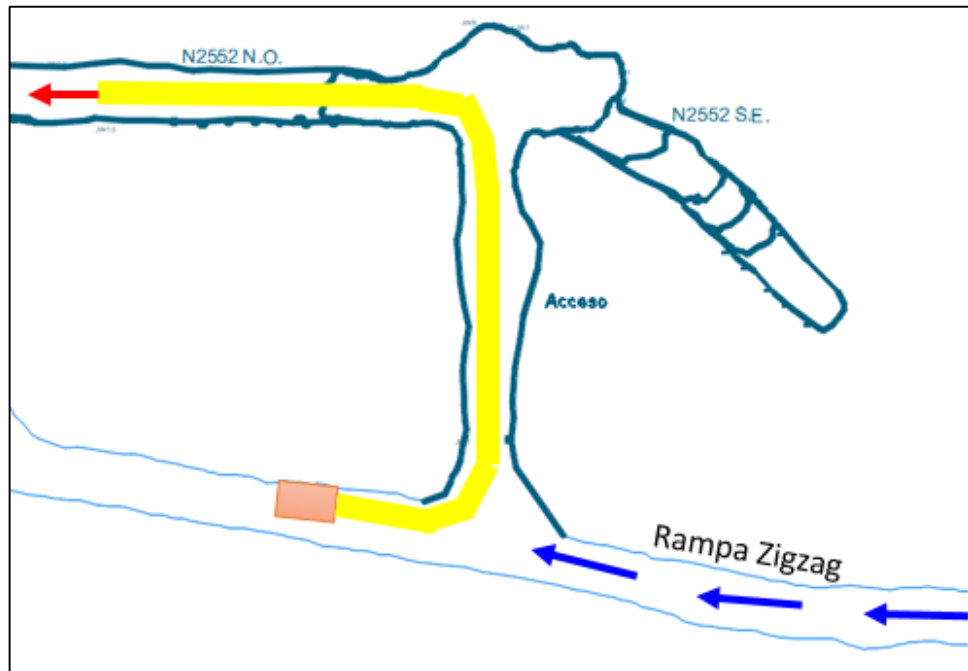


Figura 41: Ubicación del ventilador nivel 2552.

5.2.4. Nivel 2515 Sudeste

El N 2515 es un nivel de desarrollo en veta; es uno de los más críticos en cuanto a ventilación, tiene un tiempo de aproximado de dos horas para ventilarse luego de una voladura, y además las condiciones empeoran en la extracción de mineral del frente de trabajo.

En la Figura 42 se muestra una vista en planta de la ubicación del ventilador inyector en el nivel y el frente de trabajo.

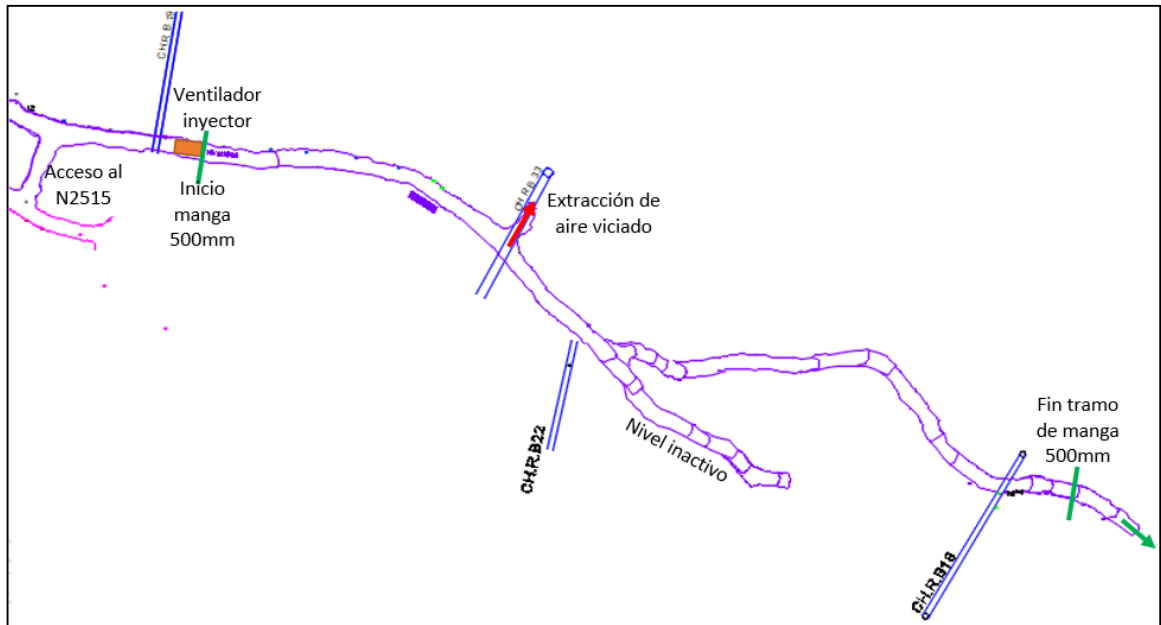


Figura 42: Vista en planta N2515 SE.

El plano completo, vista en planta con los flujos de aire, se muestra en el Anexo I.

El equipo instalado es un ventilador Cirigliano modelo 30 KG, con una potencia de 50HP, cuyo diámetro es de 760 mm instalado con mangas de 500 mm.

Lo que se produce, es una reducción en su diámetro de 230 mm. Si bien es una reducción gradual, al haber un cambio de diámetro se produce una pérdida de energía. Esto se traduce en un aumento de la velocidad por un menor diámetro, pero una mayor pérdida de carga. Además, sumado a que el tipo de manga tiene mayor fricción por sus anillos de alambre y que en algunos sectores se encuentran deterioradas, rotas o desacopladas parcialmente, hace que el caudal entregado, sea menor al caudal requerido.

La imagen 20 muestra un tramo del tipo de mangas corrugadas en una curva.



Imagen 20: Tramo de manga corrugada N2515

En total, desde el ventilador hasta 25 m antes del frente de trabajo hay 230 m de mangas; algunos tramos con mangas corrugadas y otros con mangas lisas.



Caudal requerido en el frente de trabajo

- 1) **Caudal requerido por personal:** Si bien hay tareas que se realizan con 2 personas por frente, hay otras como el carguío de explosivos que se realiza con 3 personas.

Caudal requerido por personal – Desarrollo en Veta			
Nº de personas	Caudal por persona (m3/min)	Caudal Total (m3/min)	Caudal Total (CFM)
3	4	12	423,78

Tabla 34: Caudal requerido por personal N2515

- 2) **Caudal requerido por equipos diésel:** De los equipos utilizados en un ciclo completo de trabajo, requieren mayor caudal las palas de bajo perfil. Por lo que vamos a considerar esta actividad como la más crítica en cuanto a ventilación. Generalmente las palas que utilizan para extracción de mineral son las WARNER ST 2G:

Caudal requerido por equipo diésel - Desarrollo en Veta								
Equipo	Potencia Nominal (CV)	Potencia Nominal (HP)	F.U.	Pot. Nominal Desarrollada	Pot. De Motor Efectiva (HP)	Caudal Requerido por HP (m3/min)	Caudal Requerido (m3/min)	Caudal Requerido (CFM)
Warner ST 2G	110,50	109,00	0,75	0,80	65,40	2,83	185,08	6.536,12

Tabla 35: Caudal requerido por equipos diésel N2515

- 3) **Caudal requerido por desprendimiento de gases de voladura:** En este caso es un requerimiento de caudal temporal, se considera una hora el tiempo de ventilación, aunque suele ser media hora más hasta que los operarios ingresan al frente de trabajo. Se tomó de referencia de consumo de explosivo un parte realizado por el polvorinero al nivel en cuestión.

Consumo de explosivo - Un disparo N2515 (4-Ene)				
Explosivos/ Agente de voladura/ Accesorios	Unidad	Peso por unidad (kg)	Consumo N2515 (Unid)	Consumo Total por disparo (kg)
Gelamón ø 32mm 65%	Unid.	0,2465	11	2,71
Cordón detonante N°5	m	0,0171	20	0,34
Cordón detonante N°40	m	0,0667	46	3,07
ANFO explosivo	1 bolsa	25,000	3	75,00
Mecha lenta de seguridad	m	0,0245	8	0,20
Capsula detonante N°8	Unid.	0,1450	2	0,29
			Total	81,61

Tabla 36: Consumo de explosivo N2515



Caudal requerido por consumo de explosivo - Desarrollo en Veta	
m3/min	CFM
680,06	24.016,06

Tabla 37: Caudal requerido por consumo de explosivo N2515

Se tienen las mismas consideraciones que en el caso del caudal global requerido, ya que las operaciones de voladura no son simultáneas con las de carguío, entonces por un lado tenemos el requerimiento de aire por desprendimiento de gases de voladura (**24.016,06 CFM**), y por otro lado el requerimiento por equipos diésel y personal (**6.959,90 CFM**). De ambos tomamos el mayor, es decir, por el caudal requerido por voladura y la aplicamos por un factor de seguridad del 10%.

El caudal total requerido en un frente de trabajo es de **26.417,67 CFM**.

La siguiente tabla muestra las mediciones tomadas al final del tramo del ducto de ventilación:

Velocidad (m/s)									Dirección del flujo	Temperatura (°C)
V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9		
15,65	15,86	15,28	14,72	14,82	14,36	14,65	13,66	14,54	Inyector	20,40

Tabla 38: Medición de velocidades y temperatura

Se calcula el caudal que llega al frente de trabajo:

Diámetro de manga Ø (m)	Área (m2)	Velocidad Promedio		Caudal	
		m/s	m/min	m3/min	CFM
0,50	0,20	14,84	890,26	174,80	6.173,13

Tabla 39: Caudal entregado por el ventilador al N2515.

Como se puede observar, resulta insuficiente el caudal de aire que inyecta el ventilador al frente de trabajo.



5.2.5. Labores de Veta Encuentro Inferior

Se realizó un recorrido con los jefes de turno del departamento de geomecánica y seguridad, ya que son labores que no están en explotación hace tiempo. Se tomaron las mediciones correspondientes, y se realizó una descripción de la situación actual del circuito de ventilación de la parte inferior de Veta Encuentro, en el N2446 e inmediaciones.

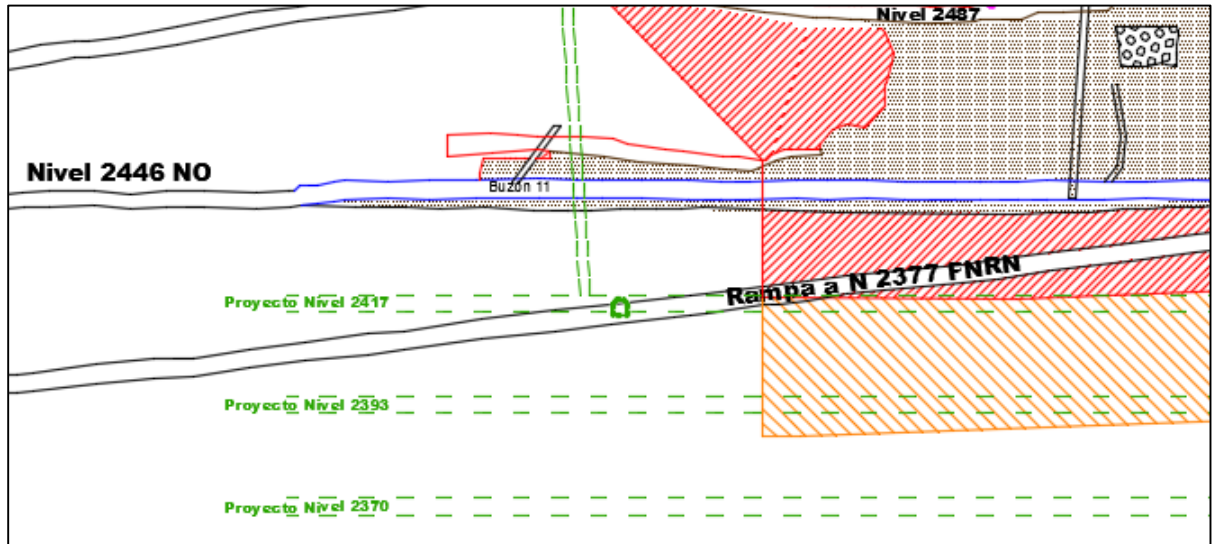


Figura 43: Proyecto niveles inferiores de Veta Encuentro

La finalidad es mostrar las diferentes opciones de provisión de aire fresco al sector para cumplir con lo proyectado.

Uno de los proyectos es realizar una labor en la cota 2409, que es hasta donde llegaría la chimenea Raise Borer proyectada al noroeste de Veta Encuentro, los cuales son aproximadamente 40 m horizontales (Figura 44). Pero, por otro lado, se tiene la necesidad de comenzar los desarrollos de los subniveles planificados para la continuidad de la producción.

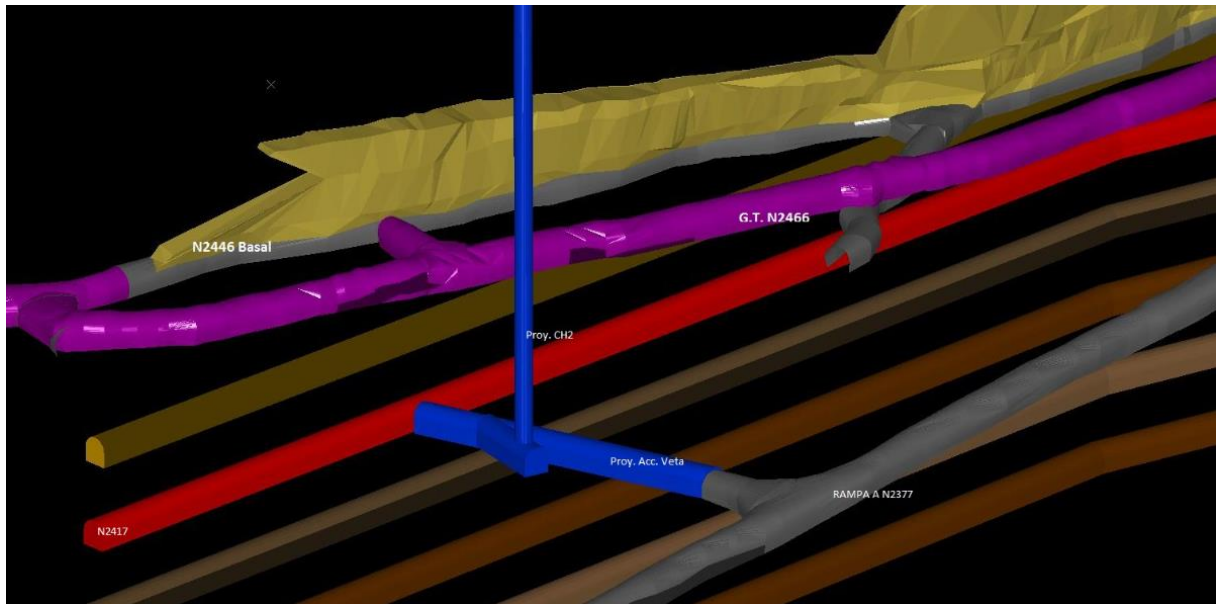


Figura 44: Proyecto chimenea Raise Borer NO – Veta Encuentro

Para el ingreso de aire fresco se evaluaron dos opciones, una es aprovechar el caudal que ingresa por la Ch N° 26, cuya dirección de los flujos se indica en la siguiente figura:

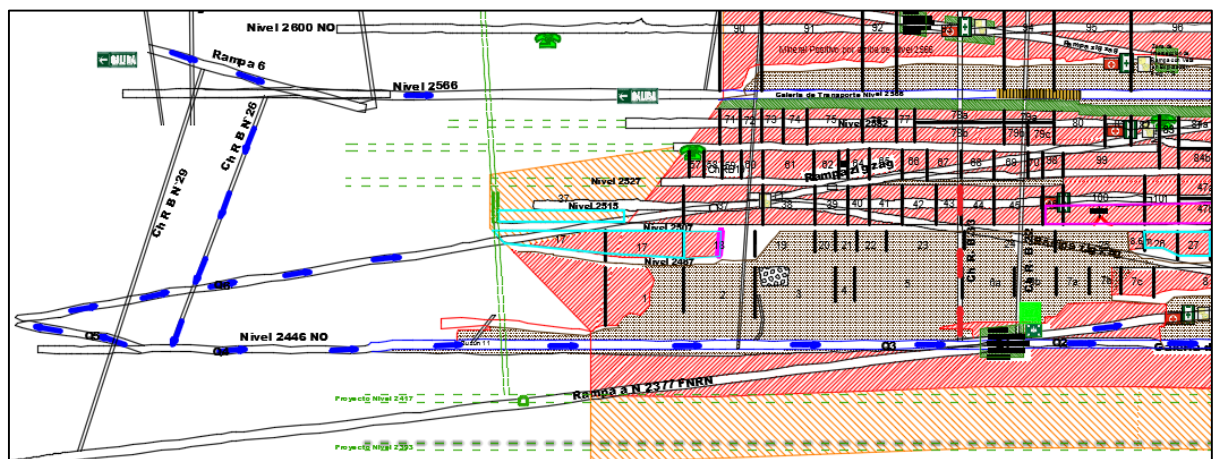


Figura 45: Dirección de flujos de aire



La distribución de caudales en inmediaciones de la chimenea N° 26 es la siguiente:

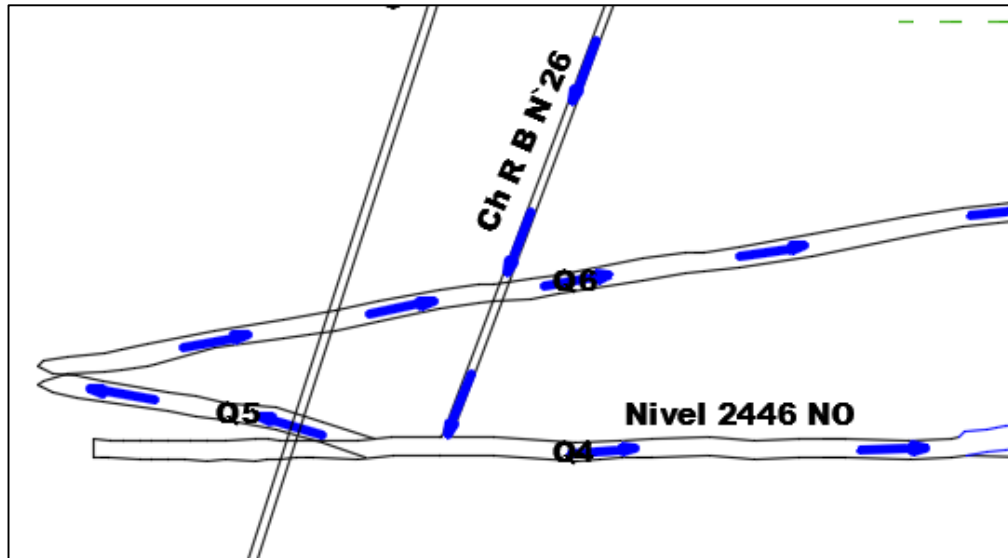


Figura 46: Ingreso de aire por la chimenea N°26

Punto	Caudal (m3/min)	Caudal (CFM)
Q4	188,8	6.667,41
Q5	74,6	2.634,47
Q6	187,3	6.614,44

Figura 47: Caudales

El caudal que ingresa por la Ch N° 26 al Nivel 2446, es de 9.301,89 CFM (Q4+Q5), y al tener una abertura en la rampa hacia los niveles superiores, aporta en la misma un caudal de 3.979,97 CFM (Q6-Q5).

Si se realiza un cerramiento en la rampa que va al N 2515 y en la abertura de la chimenea, como se indica en la Figura 48, podríamos direccionar hacia el N 2446 un caudal natural aproximado de **13.281,86 CFM**.

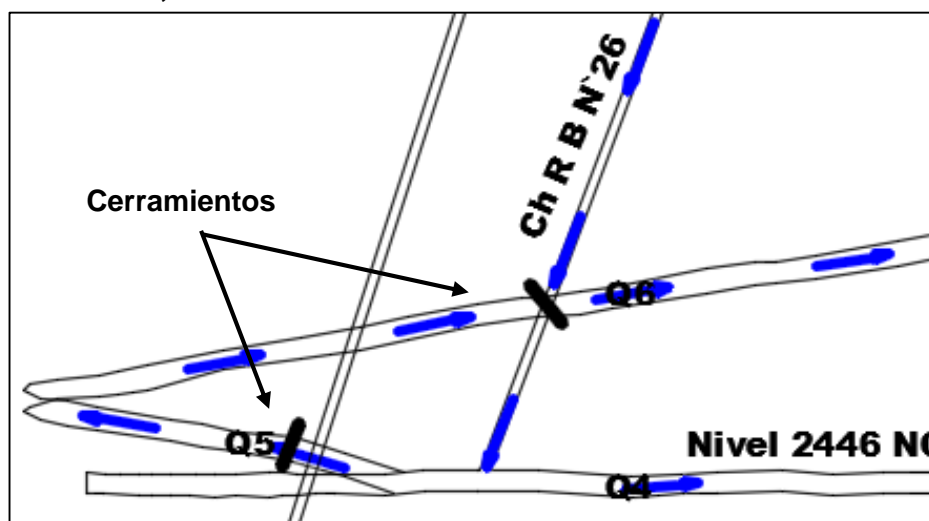


Figura 48: Posibles cerramientos



Como segunda opción es recuperar la Chimenea N° 29, Fig. N° 45, aprovechando el aire que ingresa por Rampa 6, y direccionar parte de éste hacia los niveles inferiores.

La proyección de esta chimenea comienza en donde se encuentra la plataforma de exploración, por lo que se tendrá que esperar que finalicen sus trabajos, quitar el relleno y la tapa de la chimenea, para realizar una evaluación más detallada de la situación. Como se tiene antecedentes de presencia de gases en dicha labor, una vez destapada, si se realiza un monitoreo de evaluación, debe ser con los elementos de protección requeridos y en lo posible con presencia de personal de Seguridad y de la Brigada de Emergencia del yacimiento.

La idea de recuperarla es poder ingresar aire fresco por la misma, sin interferir en el sistema de ventilación actual.

5.3. Veta Esperanza Sudeste

El problema de ventilación en este sector se encuentra al SE y en los niveles inferiores. Las chimeneas se encuentran muy alejadas de los sectores de explotación, gráficamente esto se puede ver en el perfil longitudinal de Veta Esperanza en el Anexo I.

El Nivel 2477 SE está finalizado, el Nivel 2497 SE le quedan tan solo 13 m hasta llegar a la altura del nivel inferior. Es por ello, que, nos centraremos en el estudio del problema de ventilación del Nivel 2451 SE, que es el menos avanzado, quedando para finalizar lo planificado 56,5 m. La siguiente figura muestra la disposición de los niveles antes mencionados.

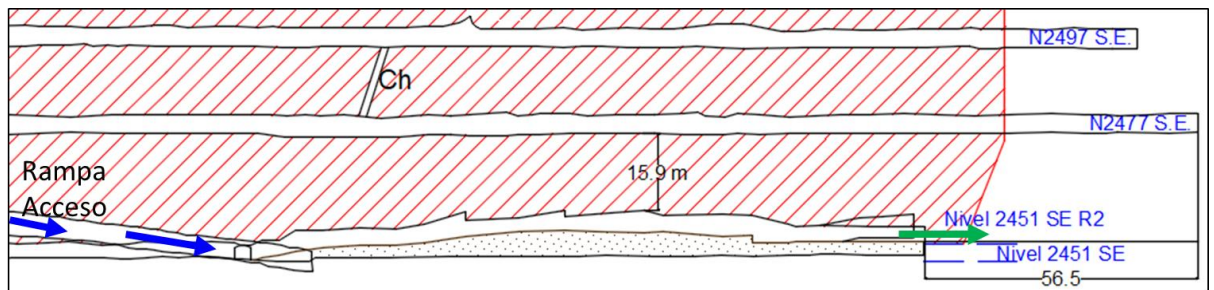


Figura 49: Niveles del sector sudeste de Veta Esperanza.

5.3.1. Nivel 2451 SE

Este nivel tiene una sola entrada de aire fresco, por Rampa Acceso al nivel y no tiene chimeneas cercanas, por lo que es un sector complicado desde el punto de vista de la ventilación. Otro inconveniente es que el aire que llega al nivel a veces está viciado, ya que hay niveles superiores en actividad, y el nivel presenta temperaturas elevadas.

Se encuentra instalado un ventilador inyector Cirigliano de 22kW de potencia a 20 m del acceso por rampa, e inyecta aire al frente de trabajo mediante 120m de mangas de ventilación de 500 mm de diámetro.

La dirección de los flujos y ubicación del ventilador se puede ver en la Figura 50.

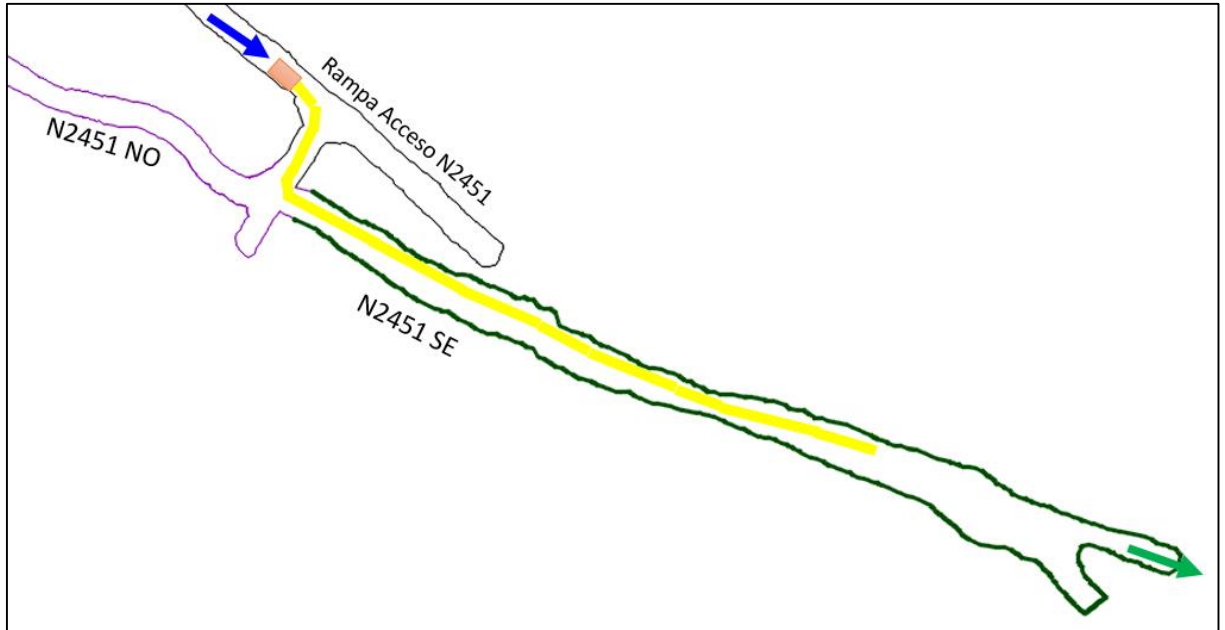


Figura 50: Vista en planta N2451

El plano con vista en planta del N2451 se encuentra en el Anexo I.

Caudal requerido en el frente de trabajo

- 1) **Caudal requerido por personal:** Es el mismo caudal calculado para el caso del Nivel 2515, es decir, 423,78 CFM.
- 2) **Caudal requerido por equipos diésel:** Se considera la extracción de mineral como la actividad más crítica en cuando a ventilación. En este caso el equipo utilizado es una WARNER ST7:

Caudal requerido por equipo diésel - Desarrollo en Veta								
Equipo	Potencia Nominal (CV)	Potencia Nominal (HP)	F.U.	Pot. Nominal Desarrollada	Pot. De Motor Efectiva (HP)	Caudal Requerido por HP (m3/min)	Caudal Requerido (m3/min)	Caudal Requerido (CFM)
WAGNER ST7	195,66	193,00	0,75	0,80	115,80	2,83	327,71	11.573,12

Tabla 40: Caudal requerido por equipos diésel N2451 SE

- 3) **Caudal requerido por desprendimiento de gases de voladura:** Se tomó de referencia de consumo de explosivo un parte diario, realizado por el polvorinero al nivel en cuestión.



Consumo de explosivo - Un disparo N2515 (4-Ene)				
Explosivos/ Agente de voladura/Accesorios	Unidad	Peso por unidad (kg)	Consumo N2451 (Unid)	Consumo Total por disparo (kg)
Gelamón \varnothing 32mm 65%	Unid.	0,2465	25	6,16
Cordón detonante N°5	m	0,0171	27	0,46
Cordón detonante N°40	m	0,0667	34	2,27
ANFO explosivo	1 bolsa	25,000	3	75,00
Mecha lenta de seguridad	m	0,0245	8	0,20
Capsula detonante N°8	Unid.	0,1450	2	0,29
			Total	84,38

Tabla 41: Consumo de explosivo N2451 SE.

Caudal requerido por consumo de explosivo - Desarrollo en Veta	
m3/min	CFM
703,15	24.831,54

Tabla 42: Caudal requerido por consumo de explosivo N2451 SE

Se tienen las mismas consideraciones que en el caso del caudal global requerido y del nivel 2515, ya que las operaciones de voladura no son simultáneas con las de carguío; entonces por un lado tenemos el requerimiento de aire por desprendimiento de gases de voladura **24.831,54 CFM**, y por otro lado el requerimiento por equipos diésel y personal de **11.996,90 CFM**. De ambos tomamos el mayor, es decir, el caudal requerido por voladura y le aplicamos un factor de seguridad del 10%.

El caudal total requerido en el frente de trabajo es de **27.314,69 CFM**.

La siguiente tabla muestra las mediciones tomadas al final del tramo del ducto de ventilación:

Velocidad (m/s)									Dirección del flujo	Temperatura (°C)
V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9		
6,95	7,98	7,67	7,49	7,92	7,51	8,52	8,15	8,23	Inyector	23

Tabla 43: Medición de velocidades y temperatura

Se calcula el caudal que llega al frente de trabajo:

Diámetro de manga \varnothing (m)	Área (m ²)	Velocidad Promedio		Caudal	
		m/s	m/min	m3/min	CFM
0,50	0,20	7,82	469,47	92,18	3.255,29

Tabla 44: Caudal entregado por el ventilador al N2451.

Como se puede observar, resulta insuficiente el caudal de aire que inyecta el ventilador al frente de trabajo.

En cuando a los niveles de monóxido y oxígeno en las mediciones, se detecta que el ventilador está inyectando aire viciado: Oxígeno (%) = 20,8; Monóxido (ppm) = 10.



5.4. Problemas generales

Se detectaron en varios sectores de la mina mangas deterioradas, con roturas o no acopladas en su totalidad unas con otras, lo que genera mucha pérdida de carga. Por otro lado, la instalación de las mismas tiene quiebres, esto es más notable en las curvas. También se observaron cerramientos ya instalados deteriorados, que requieren reparación.

Se puede observar esto en las siguientes imágenes:



Imagen 21: Manga deteriorada;



Imagen 22: Quiebre de manga;



Imagen 23: Quiebre de manga



Imagen 24: Cerramiento deteriorado.



Imagen 25: Cerramiento deteriorado.



CAPITULO 6

ANALISIS DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA LA PROFUNDIZACIÓN DE VETA ENCUENTRO

En el caso de Veta Encuentro, el ingreso principal de aire fresco es por las rampas de acceso y algunas chimeneas, mientras que el aire viciado es evacuado por una chimenea principal (Chimenea RB N°33), que posee un ventilador extractor en superficie (54K Cirigliano). Es decir, que en la actualidad se utiliza un sistema general de ventilación centralizado.

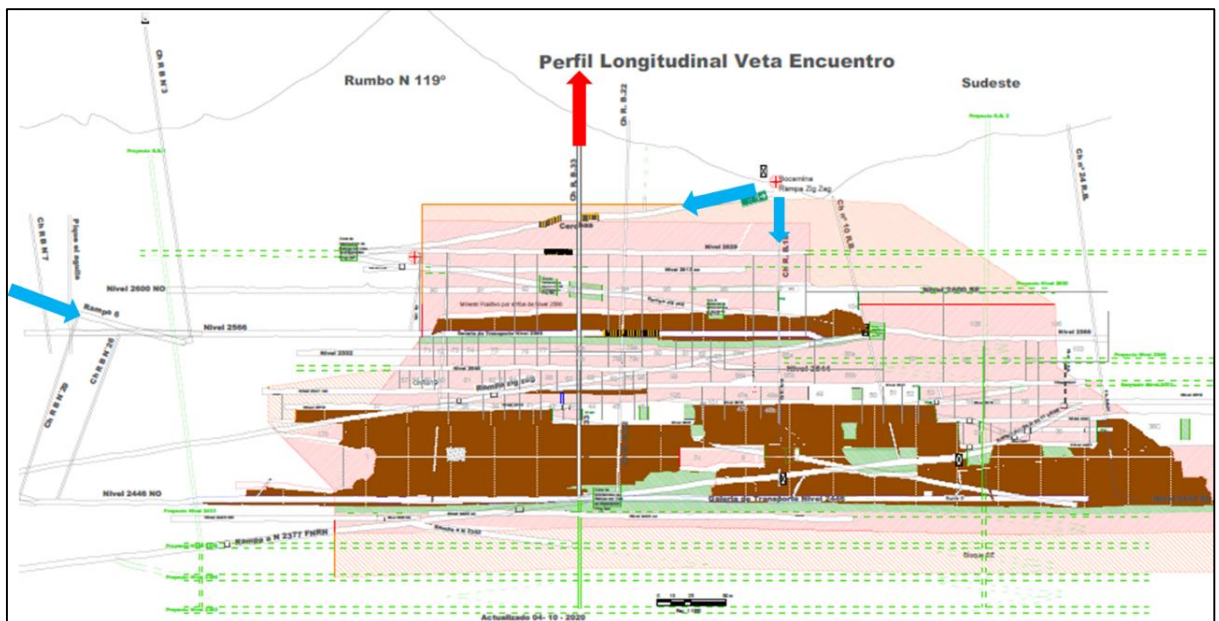


Figura 51: Sistema general de ventilación centralizado.

Como la explotación de la mina se expande en dirección NO-SE, y a su vez se está profundizando con el proyecto de Veta Encuentro Inferior, que se divide en 2 sectores: Sector Noroeste Y Sector Sudeste, por lo que se determinó la necesidad de migrar a un sistema de ventilación general diagonal.

En un sistema de ventilación diagonal, la labor utilizada para el ingreso de aire fresco se encuentra aproximadamente en el centro del área minera, y las de extracción del aire viciado en su periferia a una gran distancia de la primera. El movimiento del aire es más directo, ya que el aire viciado no debe regresar al centro del área minera después de pasar por los frentes de explotación, sino que abandona la mina a través de las labores que se encuentran en la periferia de aquella.

En el desarrollo y preparación para la explotación de cámaras, las nuevas chimeneas, R.B. N° 1 NO Y R.B. N° 2 SE, nos permitirán evacuar el aire viciado, mientras que por la Ch N° 33 y rampas se realizará el ingreso de aire fresco.

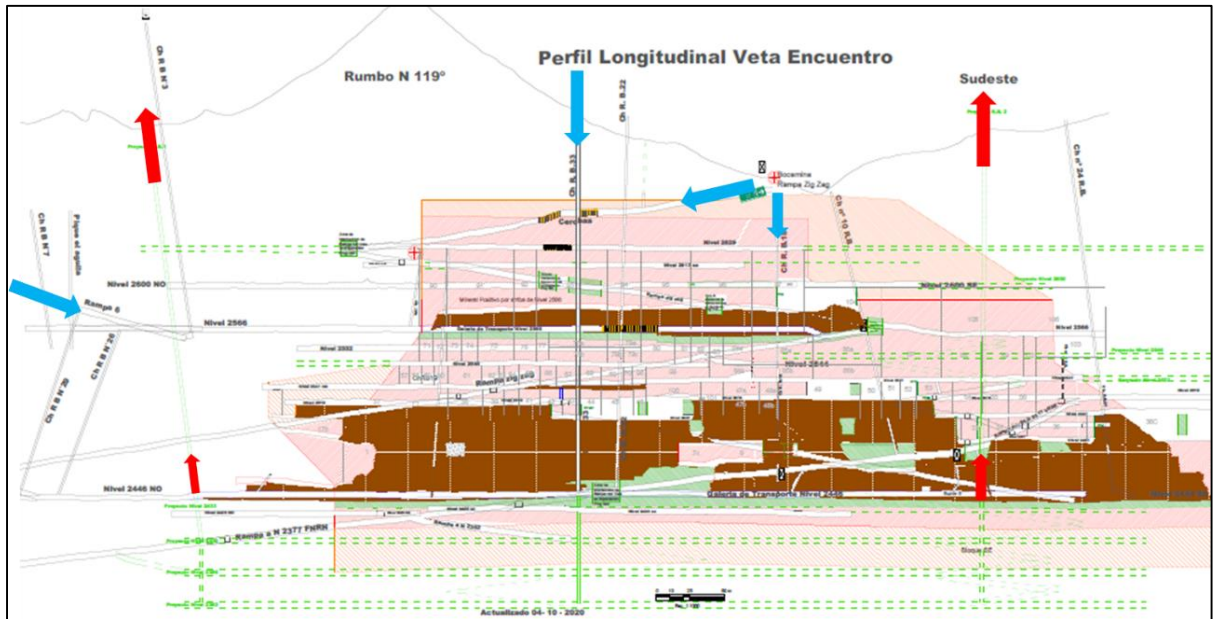


Figura 52: Sistema general de ventilación diagonal.

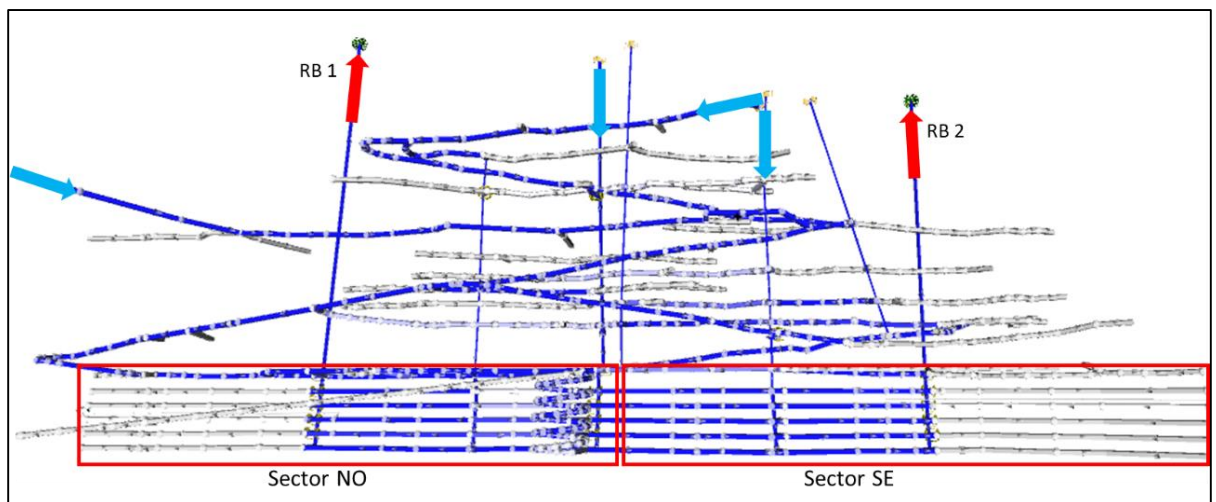


Figura 53: Modelo de ventilación en VentSim – Veta Encuentro.

Según los cálculos realizados de acuerdo al caudal requerido global para la mina por equipos diésel, personal y gases generados por las voladuras, con un factor de seguridad del 10%, se concluye que el 82,1% del caudal requerido, está cubierto con el que existe actualmente, quedando un margen del 17,9%, igual a **56.135,92 CFM**.

A continuación, se plantean tres escenarios diferentes de requerimientos de aire, en donde se toman las actividades más críticas en cuanto a ventilación:

Escenario 1:

- 1 cámara para volar
- 2 frentes de desarrollo en extracción.
- 2 camiones
- 10 personas.



1) Caudal requerido por personal:

Caudal requerido por personal – Escenario 1				
Personal - Función	Nº de personas	Caudal por persona (m3/min)	Caudal requerido (m3/min)	Caudal requerido (CFM)
Cargador de explosivo	2	4	8	282,52
Ayudante	1		4	141,26
Palero	2		8	282,52
Ayudante de palero	2		8	282,52
Camionero	2		8	282,52
Supervisor	1		4	141,26
Total	10			40	1.412,59

Tabla 45: Caudal requerido por personal – Escenario 1

2) Caudal requerido por equipos diésel: Los equipo utilizados simultáneamente serían dos WARNER ST 2G y la presencia de dos camiones en el sector, aunque sean más en el ciclo de trabajo.

Caudal requerido por equipo diésel - Escenario 1								
Equipo	Pot. Nominal (CV)	Pot. Nominal (HP)	F.U.	Pot. Nominal Desarrollada	Pot. De Motor Efectiva (HP)	Caudal Requerido o por HP (m3/min)	Caudal Requerido (m3/min)	Caudal Requerido (CFM)
2 Cargadoras bajo perfil WAGNER ST 2G	221,01	218,00	0,75	0,80	130,80	2,83	370,16	13.072,23
2 Camiones VOLVO 320	640,00	631,29	0,65	0,80	328,27	2,83	929,00	32.807,49
Total							1.299,17	45.879,72

Tabla 46: Caudal requerido por equipos diésel – Escenario 1

Caudal requerido por desprendimiento de gases de voladura: Se tomó de referencia de consumo de explosivo otras voladuras realizadas en la mina. En este caso se considera una voladura de cámara.

Consumo de explosivos en una cámara				
Explosivos/ Agente de voladura/Accesorios	Unidad	Peso por unidad (kg)	Consumo por turno (Unid)	Consumo Total por turno (kg)
Gelamón ø 32mm 65%	Unid.	0,2465	6	1,48
Cordón detonante N°5	m	0,0171	10	0,17
ANFO explosivo	1 bolsa	25,000	6	150,00
Mecha lenta de seguridad	m	0,0245	6	0,15
Capsula detonante N°8	Unid.	0,1450	2	0,29
Total				152,09

Tabla 47: Consumo de explosivo en una cámara – Escenario 1.



Caudal requerido por consumo de explosivos – Escenario 1	
m3/min	CFM
1.267,40	44.757,68

Tabla 48: Caudal requerido por consumo de explosivo - Escenario 1

Escenario 2:

- 1 cámara en extracción
- 1 cámara para volar
- 1 frentes de desarrollo en extracción.
- 3 camiones
- 11 personas.

1) Caudal requerido por personal:

Caudal requerido por personal - Escenario 2				
Personal - Función	Nº de personas	Caudal por persona (m3/min)	Caudal requerido (m3/min)	Caudal requerido (CFM)
Cargador de explosivo	2	4	8	282,52
Ayudante	1		4	141,26
Palero	2		8	282,52
Ayudante de palero	2		8	282,52
Camionero	3		12	423,78
Supervisor	1		4	141,26
Total	11			44	1.553,85

Tabla 49: Caudal requerido por personal – Escenario 2

2) Caudal requerido por equipos diésel: Los equipo utilizados simultáneamente serían dos cargadoras bajo perfil, una WARNER ST 2G y una WARNER ST7 y la presencia de tres camiones en el sector, aunque sean más en el ciclo de trabajo.

Caudal requerido por equipo diésel - Escenario 2								
Equipo	Pot. Nominal (CV)	Pot. Nominal (HP)	F.U.	Pot. Nominal Desarrollada	Pot. De Motor Efectiva (HP)	Caudal Requerido por HP (m3/min)	Caudal Requerido (m3/min)	Caudal Requerido (CFM)
1 Cargadora bajo perfil WAGNER ST7 2G	110,50	109,00	0,75	0,80	65,40	2,83	185,08	6.536,12
1 Cargadora bajo perfil WAGNER ST7	195,66	193,00	0,75	0,8	115,80	2,83	327,71	11.573,12
3 Camiones VOLVO 320	960,00	946,93	0,65	0,80	492,40	2,83	1.393,51	49.211,23
Total							1.906,30	67.320,47

Tabla 50: Caudal requerido por equipos diésel – Escenario 2



- 3) **Caudal requerido por desprendimiento de gases de voladura:** Se tomó de referencia de consumo de explosivo otras voladuras realizadas en la mina. En este caso se considera una voladura de cámara.

Consumo de explosivos en una cámara				
Explosivos/ Agente de voladura/ Accesorios	Unidad	Peso por unidad (kg)	Consumo por turno (Unid)	Consumo Total por turno (kg)
Gelamón ø 32mm 65%	Unid.	0,2465	8	1,97
Cordón detonante N°5	m	0,0171	10	0,17
ANFO explosivo	1 bolsa	25,000	8	200,00
Mecha lenta de seguridad	m	0,0245	6	0,15
Capsula detonante N°8	Unid.	0,1450	2	0,29
			Total	202,58

Tabla 51: Consumo de explosivo en una cámara – Escenario 2

Caudal requerido por consumo de explosivos – Escenario 2	
m3/min	CFM
1.688,17	59.617,23

Tabla 52: Caudal requerido por consumo de explosivo - Escenario 2

Escenario 3:

- 1 cámara para volar
- 2 frentes de desarrollo en extracción
- 1 frente de desarrollo para volar
- 3 camiones
- 14 personas.

1) **Caudal requerido por personal:**

Caudal requerido por personal - Escenario 3				
Personal - Función	Nº de personas	Caudal por persona (m3/min)	Caudal requerido (m3/min)	Caudal requerido (CFM)
Cargador de explosivo	4	4	16	565,04
Ayudante	2		8	282,52
Palero	2		8	282,52
Ayudante de palero	2		8	282,52
Camionero	3		12	423,78
Supervisor	1		4	141,26
Total	14		56	1.977,62

Tabla 53: Caudal requerido por personal – Escenario 3

- 2) **Caudal requerido por equipos diésel:** Los equipo utilizados simultáneamente serían dos cargadoras bajo perfil WARNER ST 2G y la presencia de tres camiones en el sector, aunque sean más en el ciclo de trabajo.



Caudal requerido por equipo diésel - Escenario 3								
Equipo	Pot. Nominal (CV)	Pot. Nominal (HP)	F.U.	Pot. Nominal Desarrollada	Pot. De Motor Efectiva (HP)	Caudal Requerido por HP (m3/min)	Caudal Requerido (m3/min)	Caudal Requerido (CFM)
2 Cargadora bajo perfil WAGNER ST7 2G	221,01	218,00	0,75	0,80	130,80	2,83	370,16	13.072,23
3 Camiones VOLVO 320	960,00	946,93	0,65	0,80	492,40	2,83	1.393,51	49.211,23
Total							1.763,67	62.283,46

Tabla 54: Caudal requerido por equipos diésel – Escenario 3

- 3) **Caudal requerido por desprendimiento de gases de voladura:** Se tomó de referencia de consumo de explosivo otras voladuras realizadas en la mina. En este caso se considera para voladura una cámara y un frente en desarrollo.

Consumo de explosivos en una cámara				
Explosivos/ Agente de voladura/ Accesorios	Unidad	Peso por unidad (kg)	Consumo por turno (Unid)	Consumo Total por turno (kg)
Gelamón ø 32mm 65%	Unid.	0,2465	7	1,73
Cordón detonante N°5	m	0,0171	11	0,19
ANFO explosivo	1 bolsa	25,000	7	175,00
Mecha lenta de seguridad	m	0,0245	6	0,15
Capsula detonante N°8	Unid.	0,1450	2	0,29
Total				177,35

Tabla 55: Consumo de explosivo en una cámara – Escenario 3

Consumo de explosivo - Frente en desarrollo				
Explosivos/ Agente de voladura/ Accesorios	Unidad	Peso por unidad (kg)	Consumo N2515 (Unid)	Consumo Total por disparo (kg)
Gelamón ø 32mm 65%	Unid.	0,2465	17	4,19
Cordón detonante N°5	m	0,0171	23	0,39
Cordón detonante N°40	m	0,0667	24	1,60
ANFO explosivo	1 bolsa	25,000	3	75,00
Mecha lenta de seguridad	m	0,0245	8	0,20
Capsula detonante N°8	Unid.	0,1450	2	0,29
Total				81,67

Tabla 56: Consumo de explosivo, frente en desarrollo – Escenario 3



Caudal requerido por consumo de explosivos – Escenario 3		
	m3/min	CFM
Cámara	1.477,93	52.192,50
Frente en desarrollo	680,59	24.034,83
Total	2.158,52	76.227,33

Tabla 57: Caudal requerido por consumo de explosivo - Escenario 3

La siguiente tabla es un resumen de los resultados obtenidos en los tres escenarios:

Caudal requerido (CFM)				
Escenario	Personal	Equipos diésel	Personal + Equipos diésel	Consumo de explosivo
1	1.412,59	45.879,72	47.292,31	44.757,68
2	1.553,85	67.320,47	68.874,32	59.617,23
3	1.977,62	62.283,46	64.261,09	76.227,33

Tabla 58: Caudal requerido en distintos escenarios

Se tienen las mismas consideraciones que en el caso del caudal global requerido, ya que las operaciones de voladura no son simultáneas con las de carguío; entonces por un lado tenemos el requerimiento de aire por desprendimiento de gases de voladura, y por otro lado el requerimiento por equipos diésel y personal. De ambos caudales tomamos el mayor y le aplicamos un factor de seguridad del 10%.

Caudal requerido total (CFM)				
Escenario	Personal + Equipos diésel	Consumo de explosivo	Factor de seguridad	Caudal requerido total
1	47.292,31	44.757,68	10%	52.021,54
2	68.874,32	59.617,23		75.761,75
3	64.261,09	76.227,33		70.687,20

Tabla 59: Caudal requerido total

Como se puede observar, el caudal requerido en el *Escenario 2* es el mayor de los 3, con un valor de **75.761,75 CFM**, comparando éste con el caudal disponible **56.135,92 CFM**, se determina que resulta insuficiente.



CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones y Recomendaciones del capítulo 4

7.1.1. Balance de ingresos y egresos de flujo de aire

De las mediciones realizadas en las estaciones de medición, en rampas de acceso y chimeneas, se determinó que el caudal de ingreso a la mina es 313.551,21 CFM, y el caudal de egreso 265.438,13 CFM.

Con estos resultados concluimos que el ingreso de flujo de aire a toda la mina es mayor que el flujo de salida. Su diferencia es de 48.113,07 CFM, lo que representa un 15,3% respecto al caudal de ingreso.

Estos valores nos indican la existencia de algunas fugas de aire por medio de labores de acceso, lo cual es muy probable, ya que hay sectores que no se encuentran en explotación, sobre todo en lo que respecta a Alto de la Blenda: Veta Laboreo Oeste, Veta Laboreo, Veta Esperanza y Veta Esperanza Sudeste sector superior al N2517. Estas zonas son de difícil acceso por las condiciones geomecánicas que presentan en la actualidad.

Para que el balance de ingresos y egresos de aire tienda a cero, se recomienda realizar los cerramientos correspondientes a labores que no se encuentran en explotación.

Por otro lado, a los ventiladores principales instalados en superficie, sería conveniente la adición de variadores de frecuencia, ya que funcionan las 24hs, esto proporcionaría un ahorro de energía y por ende de costos. Como así también incorporar a los mismos un sistema de encendido automático.

Estaciones de medición

La ventilación de mina en conjunto con las operaciones, son actividades dinámicas; por lo que se sugiere que las mediciones sean periódicas. Se podría realizar un balance de los ingresos y egresos de aire de forma bimestral.

Se recomienda que el relevamiento de datos de los aforos de medición en interior de mina también se realice bimestralmente. Además de instalar nuevas estaciones de medición en apertura de niveles a desarrollar, ya que en cada modificación que se realiza en las labores mineras tiene influencia y cambios en los flujos de aire.

El modelo establecido en el presente trabajo es un modelo primario o base, que sirve para simular el desarrollo de futuras explotaciones. A medida que se avance con el desarrollo y explotación de la mina se debe ir actualizando.



7.1.2. Cobertura de Aire para la Mina

En base a los cálculos realizados de caudales requeridos: para el personal, equipos diésel y consumo de explosivos para el circuito integral de ventilación, y con la finalidad de mantener diluidos los gases tóxicos a niveles permisibles, y brindar confort a los trabajadores, se estima que el requerimiento global de flujo de aire para la mina, con un factor de seguridad del 10%, es de 257.415,29 CFM.

El caudal que ingresa a mina es de 313.551,21 CFM. Comparando ambos caudales, se concluye que es mayor el caudal de aire fresco que ingresa a mina, cubriendo en su totalidad el caudal de aire requerido, que es un 82,1% del aire que ingresa.

El exceso de aire es de un 17,9%. Si bien es un margen suficiente de seguridad para las operaciones que se llevan a cabo en la actualidad, tanto en Veta Encuentro como en Veta Esperanza SE, es un porcentaje bajo para ampliar operaciones de explotación del sector de Veta Encuentro Inferior, en donde la ventilación es escasa.

Mediante este análisis, se demuestra que el caudal de aire que ingresa a la mina es suficiente para llevar a cabo las actividades. Sin embargo, no se tiene una distribución eficiente de aire, por lo que se observaron problemas de ventilación puntuales en sectores y/o niveles de la mina.

7.2. Conclusiones y Recomendaciones del capítulo 5

7.2.1. Sectores Veta Encuentro

7.2.1.1. Rampa Zigzag

El material acopiado en la rampa obstruye el paso del aire a los niveles inferiores, por lo que se recomienda:

- Acondicionar el acceso por Rampa Zigzag quitando el material que obstruye la circulación de aire fresco, previo a esto asegurar el sector según indicaciones geomecánicas. Como ventaja adicional, se tendrá otra salida de emergencia disponible y se descongestiona el tráfico por Rampa 3, ya que es más cercano acceder por este sector al nivel 2600 y superiores a éste.
- Realizar un cerramiento en la conexión de la chimenea N° 22 con la Rampa Zigzag, lo que permitirá direccionar el aire fresco a niveles inferiores, tal como indica la Figura 54, señalizarlo con material reflectivo para mayor seguridad por el paso de vehículos.

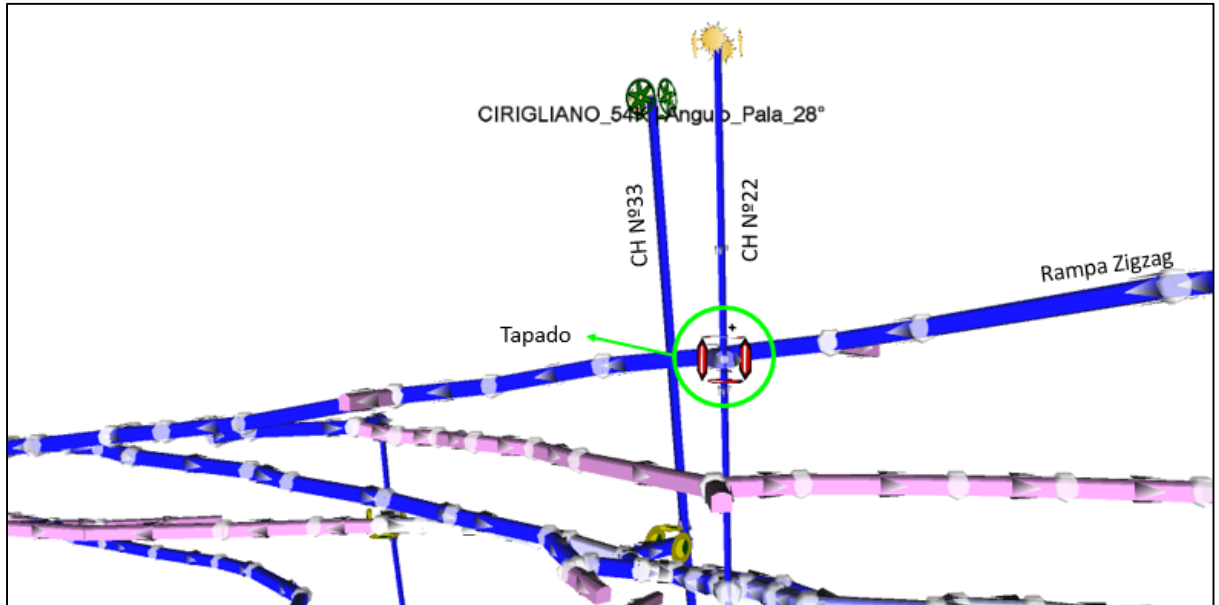


Figura 54: Simulación de flujos con un cerramiento en chimenea N°22.

7.2.1.2. Recirculación de Aire por chimenea N°33

El aire fresco que se pierde por la chimenea N° 33, siendo expulsado a superficie, es necesario para cubrir el caudal requerido en los niveles inferiores. Por otro lado, hay un estancamiento de humo y gases entre el Nivel 2566 NO y 2600 (zona de conexión Ch N°10). Por lo que se sugiere lo siguiente:

- Realizar un cerramiento en la abertura de la Ch N° 33 en el Nivel 2600 (Figura 55) con la finalidad de direccionar el aire limpio que ingresa por Rampa Zigzag, lograr una mejor distribución a los niveles donde hay mayor necesidad y evitar la recirculación del mismo.

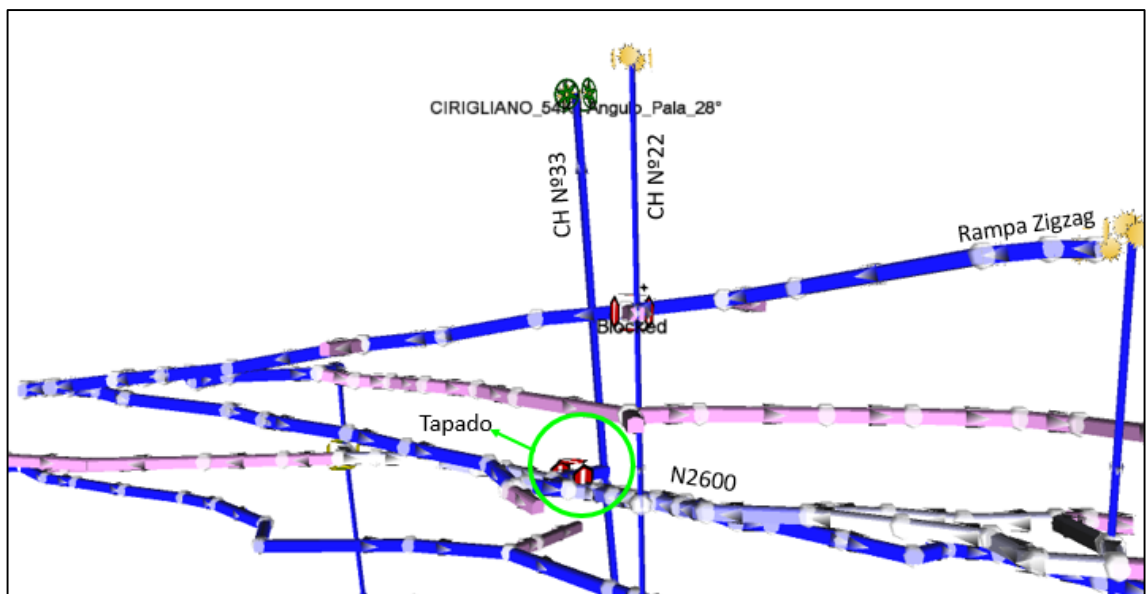


Figura 55: Simulación de flujos con un cerramiento en chimenea N°33.



El cerramiento debe tener un buen sellado y permitir facilidad en la operación, ya que debe mantenerse abierto únicamente cuando se realicen voladuras y/o extracción de mineral, para evacuar los gases generados y ante cualquier otra actividad (perforación, carga de explosivos, etc.) debe permanecer cerrado para direccionar el aire fresco a los niveles inferiores. Se propone instalar un portón que cumpla con las condiciones descriptas.

7.2.1.3. Nivel 2552

En este nivel el ventilador inyector se encuentra instalado en dirección contraria al flujo de aire fresco, produciendo una recirculación de aire viciado. Por lo que se sugiere cambiar la ubicación del ventilador y colocarlo en dirección del flujo de aire fresco que ingresa por Rampa 3, tal como indica la siguiente figura:

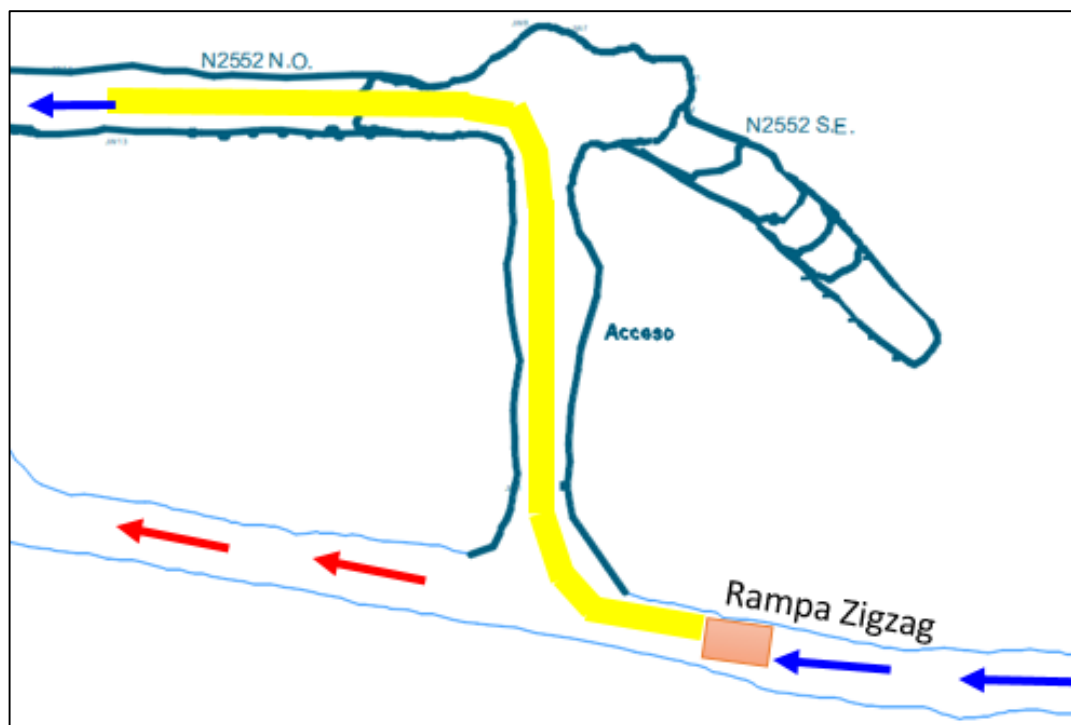


Figura 56: Ubicación recomendada del ventilador nivel 2552.

7.2.1.4. Nivel 2515 Sudeste

Es uno de los niveles más críticos en ventilación, tiene un tiempo aproximado de dos horas para ventilarse luego de una voladura, y además las condiciones empeoran en la extracción de mineral.

El ventilador inyector está a una distancia de 255 m de distancia del frente de trabajo, y posee 230 m de mangas de 500 mm de diámetro.



Se calculó el caudal requerido, con un factor de seguridad del 10%, dando como resultado **26.417,67 CFM**.

Por otro lado, con las mediciones tomadas en el extremo de la manga a 25 m del frente, se calculó que el caudal entregado por el ventilador es de **6.173,13 CFM**.

Comparando ambos valores se concluye que el caudal entregado es insuficiente. Por lo que se realizó una simulación con el Software Ventsim de la dirección de los flujos de aire y se sugiere lo siguiente:

- Realizar una conexión del Nivel 2515 SE a la Chimenea N°18. Como se puede observar en la siguiente figura, es una chimenea cercana al frente de trabajo, por donde ingresa aire fresco.

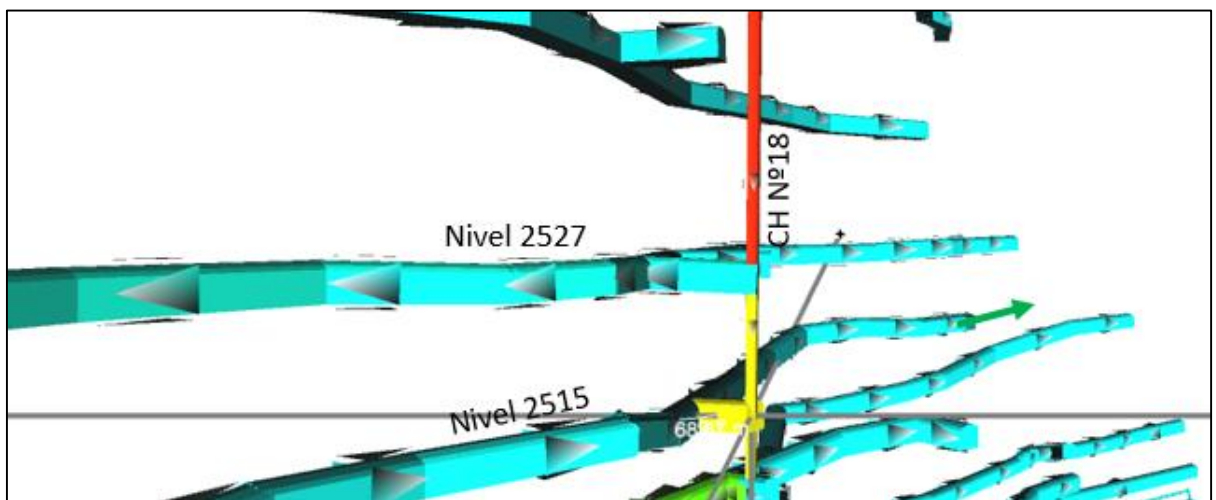


Figura 57: Conexión de N2515 con Chimenea N°18



- Mover el ventilador inyector Cirigliano 30K instalado a la conexión de la chimenea y hermetizar para evitar la recirculación de aire viciado.

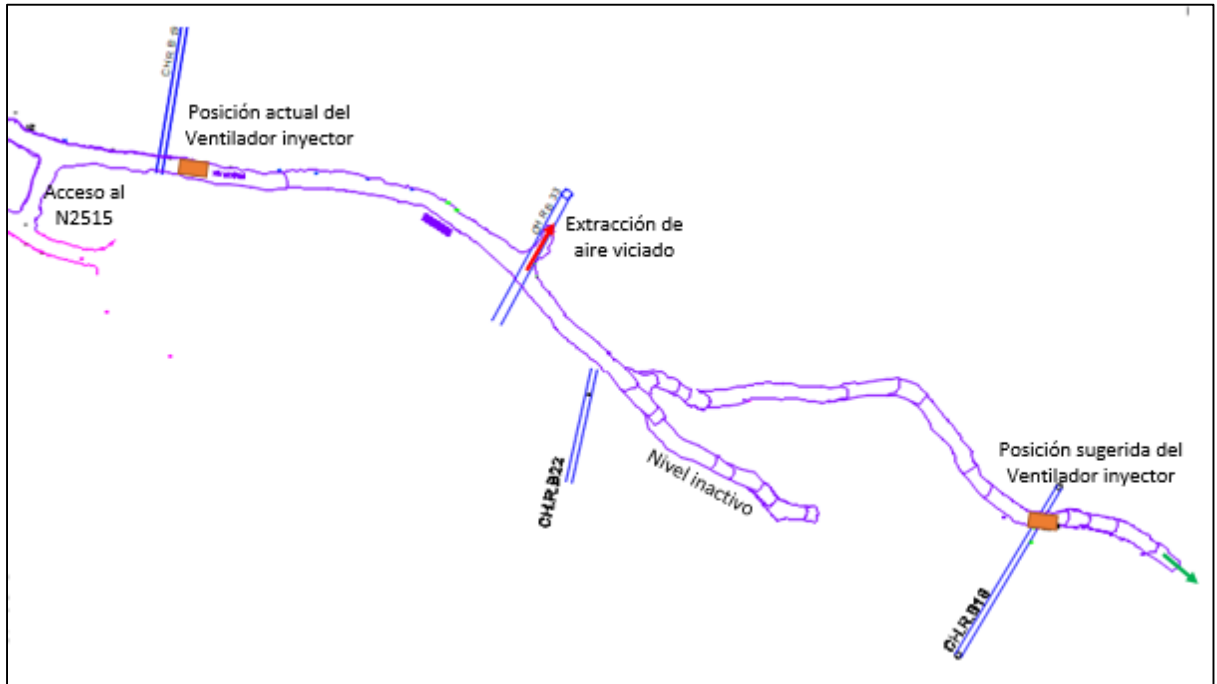


Figura 58: Posición sugerida del ventilador inyector

Se recomienda cambiar el diámetro de mangas, de 500 mm a 800 mm, ya que es un ventilador de 760 mm de diámetro. Y utilizar mangas lisas, ya que tienen menor factor de fricción que las corrugadas, y son también más económicas.

7.2.1.5. **Labores de Veta Encuentro Inferior**

Se analizaron las diferentes opciones de provisión de aire fresco al sector para cumplir con lo planificado, que es una labor horizontal de 40 m desde Rampa 2377, donde sería el pie de la Chimenea Raise Boring N° 1 al sector NO y las labores proyectadas, como ser la rampa acceso a niveles inferiores y los desarrollos en veta.

De las dos opciones, por cuestiones de tiempo, lo más conveniente es aprovechar el aire fresco que ingresa por la Ch N°26, realizando los cerramientos planteados en el sector, al Nivel 2446 nos llegaría un caudal aproximado de **13.281,86 CFM** de flujo natural.

Para direccionar el aire y aprovecharlo donde se lo necesita, se sugiere lo siguiente:

- Realizar los cerramientos descritos en el análisis para direccionar el caudal de aire fresco al N2446.
- Instalar un ventilador inyector Atlas Copco AVH71 Bietápico (Cuyas características se encuentran en el anexo III) en el Nivel 2446, a 20 m de la intersección con la rampa 2377, tal como indica la figura N°59.



“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

- Hermetizar la sección del nivel alrededor del ventilador para evitar la recirculación de aire viciado.
- Colocar mangas de 800 mm lisas hasta el N 2409, cota proyectada del pie de la chimenea a realizar. En la zona de la curva entre el N 2446 y la Rampa 2377, colocar un codo de manga corrugada con anillos para evitar excesivo quiebre en el ducto.
- Si se requiere aire fresco para dar inicio al N 2433 o a la Rampa de Acceso a Niveles inferiores, se puede colocar un accesorio de ventilación, ya sea una conexión tipo “Y” o tipo “T”, como indica la Figura N° 61.

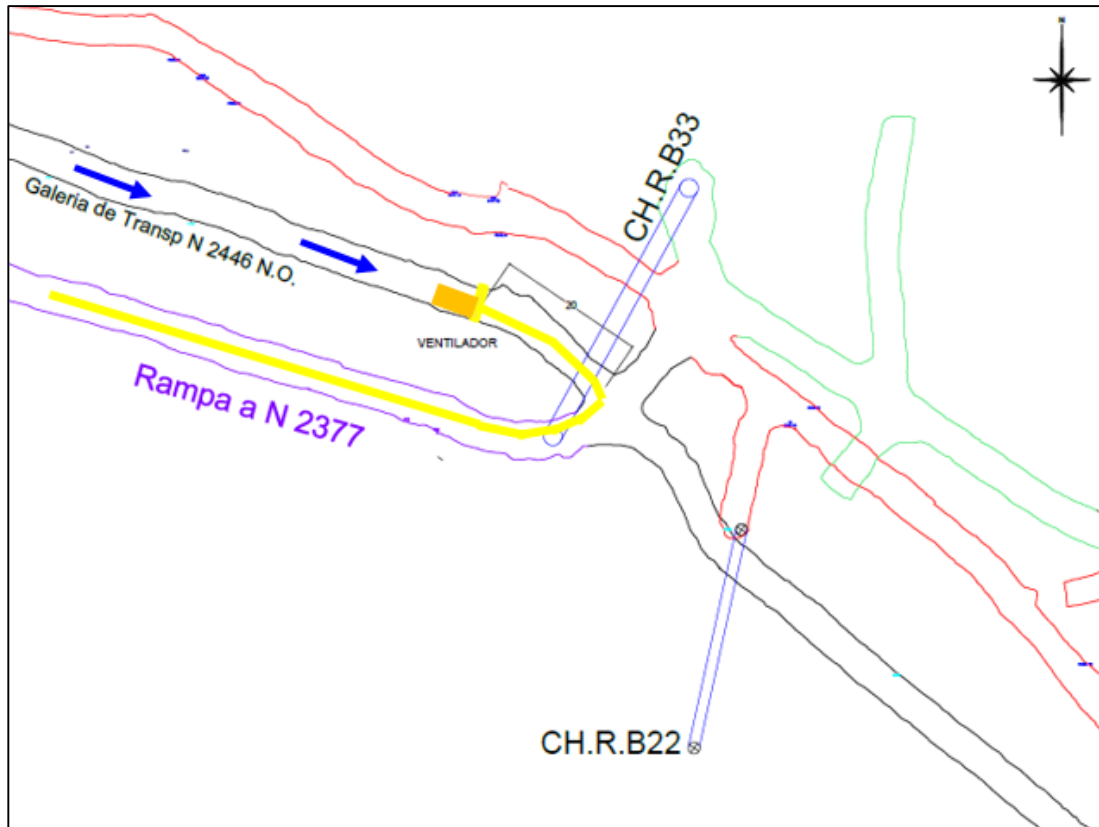


Figura 59: Vista en planta de la ubicación recomendada del ventilador.

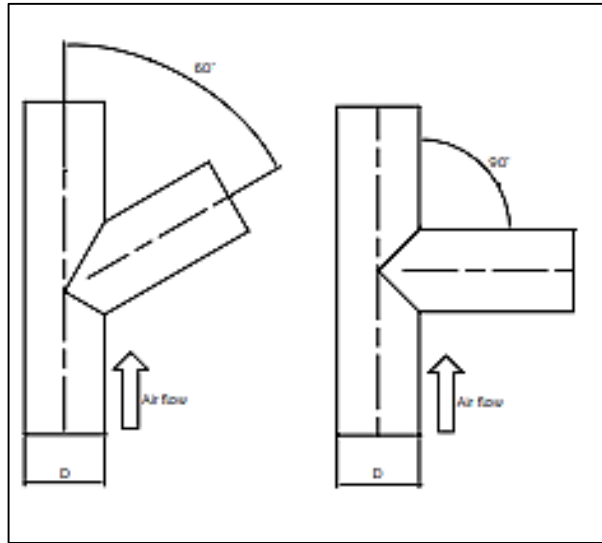


Figura 60: Accesorios de ventilación, conexiones tipo “Y” y “T”.

Se realizó la simulación con el ventilador instalado Atlas Copco AVH71 bietápico de 710 mm de diámetro en el sector indicado, cuyo punto de operación se indica en el siguiente gráfico, con una presión de 2660 Pa y un caudal aproximado de 606 m³/min (21.400,71 CFM).

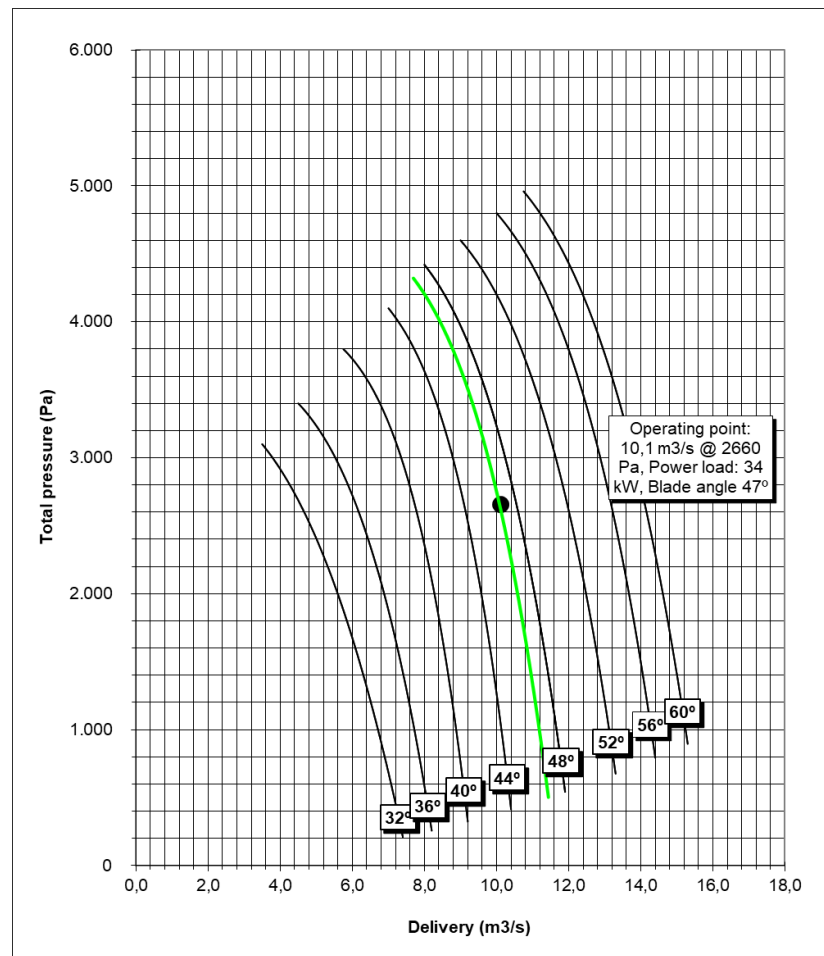


Figura 61: Punto de operación del ventilador Atlas Copco AVH71 Bietápico.



7.2.2. Veta Esperanza Sudeste

7.2.2.1. Nivel 2451 SE

Este nivel es el más profundo de Veta Esperanza SE y también el más crítico en cuando a ventilación.

Actualmente el ventilador inyector instalado, Cirigliano de 22kW de potencia, entrega un caudal de 3.255,29 CFM. Esto resulta insuficiente para las operaciones que se realizan en el sector, y además posee el inconveniente de inyectar en ocasiones aire viciado con una concentración alrededor de 10ppm de monóxido de carbono.

El cálculo de caudal requerido, aplicando un factor de seguridad del 10% nos da un resultado de **27.314,69 CFM**, considerablemente superior al que actualmente se dispone.

Se establece la necesidad de un sistema de ventilación mixto, por lo que se realizó una simulación con dos ventiladores Cirigliano 30K disponibles en mina, cuyo circuito sería el siguiente:

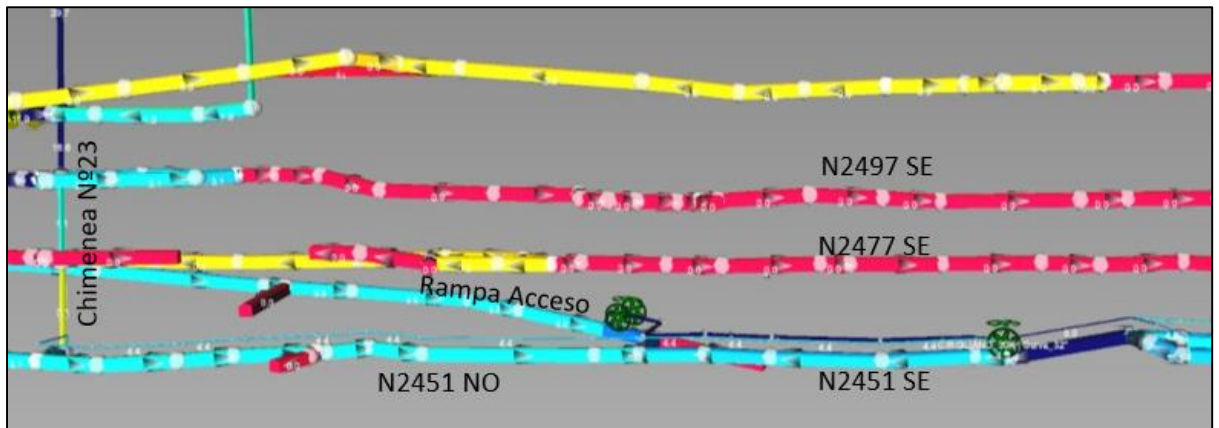


Figura 62: Sistema de ventilación mixto N2451

Para formar este circuito se sugiere lo siguiente:

- Cambiar el ventilador inyector instalado en la Rampa Acceso por uno más grande, un ventilador Cirigliano 30K. Si bien sería conveniente utilizar mangas de 800 mm, no lo permite la sección de la labor.
- Instalar un ventilador extractor Cirigliano 30K como indica la figura, a 80 m del frente de trabajo para evitar daños al mismo y prolongar mangas hacia el Nivel 2451 NO para direccionar el aire viciado hacia la Chimenea N°23. Aprovechando que no se realizan actividades en dicho nivel.
- Coordinar y ciclar las actividades a realizar en el N 2451 con los niveles superiores, para evitar los picos máximos de desprendimiento de gases por equipos diésel, sobre todo de palas cargadoras de bajo perfil.



Esto nos permitirá aumentar el caudal de aire a inyectar al nivel, y además direccionar el flujo de aire viciado, evitando la recirculación del mismo y en consecuencia disminuirá el tiempo de ventilación.

7.2.3. Recomendaciones generales (Capítulo 6)

Se detectaron cerramientos ya instalados deteriorados, por lo que se sugiere la reparación de los mismos. Además, se recomienda estandarizar los cerramientos, tanto para labores de cierre definitivo como temporal.

Por otro lado, en varios sectores de la mina se observaron mangas deterioradas, con roturas o no acopladas en su totalidad unas con otras, lo que genera mucha pérdida de carga. También se observó que la instalación de las mismas tiene quiebres, esto es más notable en las curvas.

La instalación del sistema de conductos es importante para el mejor rendimiento de todo el sistema de ventilación. En base a esto se recomienda:

- Instalar las mangas de ventilación lo más recto posible. Cuanto más recto sea el conducto, menor será la caída de presión. Con más desviaciones, obtendrá más turbulencias y una mayor caída de presión.
- Utilizar en las curvas codos de mangas corrugadas, para evitar quiebres excesivos.
- Acoplar de forma completa las mangas entre sí o con los accesorios de ventilación.
- En lo posible reparar o parchar las mangas rotas, ya que generan pérdida de caudal durante el trayecto hasta donde se requiere dicho flujo.
- Si no es posible la reparación de las mangas proceder al cambio de las mismas.
- pueden utilizar mangas de reparación (Figura 63) para tapar agujeros grandes que producen excesiva pérdida de caudal.

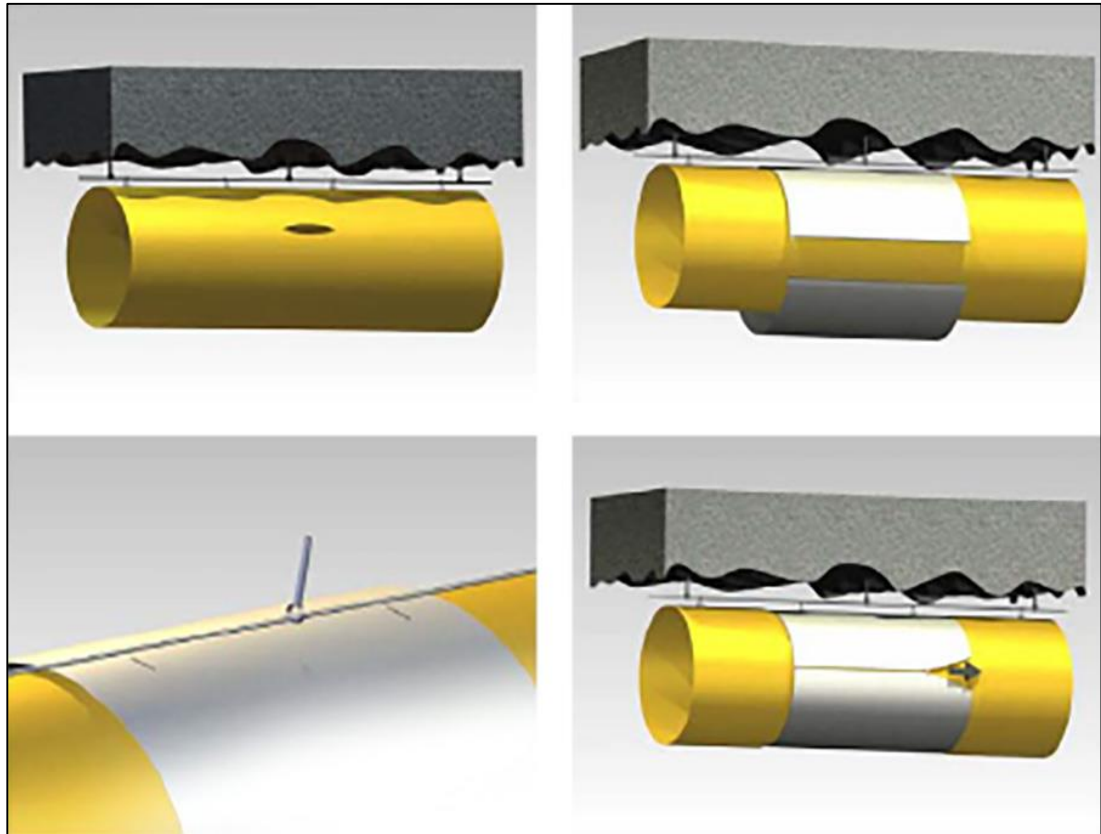


Figura 63: Mangas de reparación – Catálogo de Epiroc

Una mala configuración del conducto reducirá la eficiencia del flujo de aire y aumentará el consumo de energía, por lo que aumentará el costo de energía.

Se propone además incorporar una revisión de periódica de todos los tramos de mangas y cerramientos, por parte de las áreas de Servicios Técnicos y Operaciones de Mina. Los daños se pueden reportar como incidentes, para su posterior remediación.



7.3. Conclusiones y Recomendaciones del Capítulo 6

Una vez evaluado el sistema de ventilación central actual y como la explotación de la mina se expande hacia los extremos NO y SE, y a su vez se está profundizando con el proyecto de Veta Encuentro Inferior, se determinó la necesidad de migrar a un sistema de ventilación general diagonal.

Es este sistema, la labor utilizada para el ingreso de aire fresco sería principalmente la Chimenea N° 33 y las rampas de acceso. Mientras que la evacuación del aire viciado en su periferia estaría dado por las Raise Boring proyectadas en los extremos Noroeste y Sudeste.

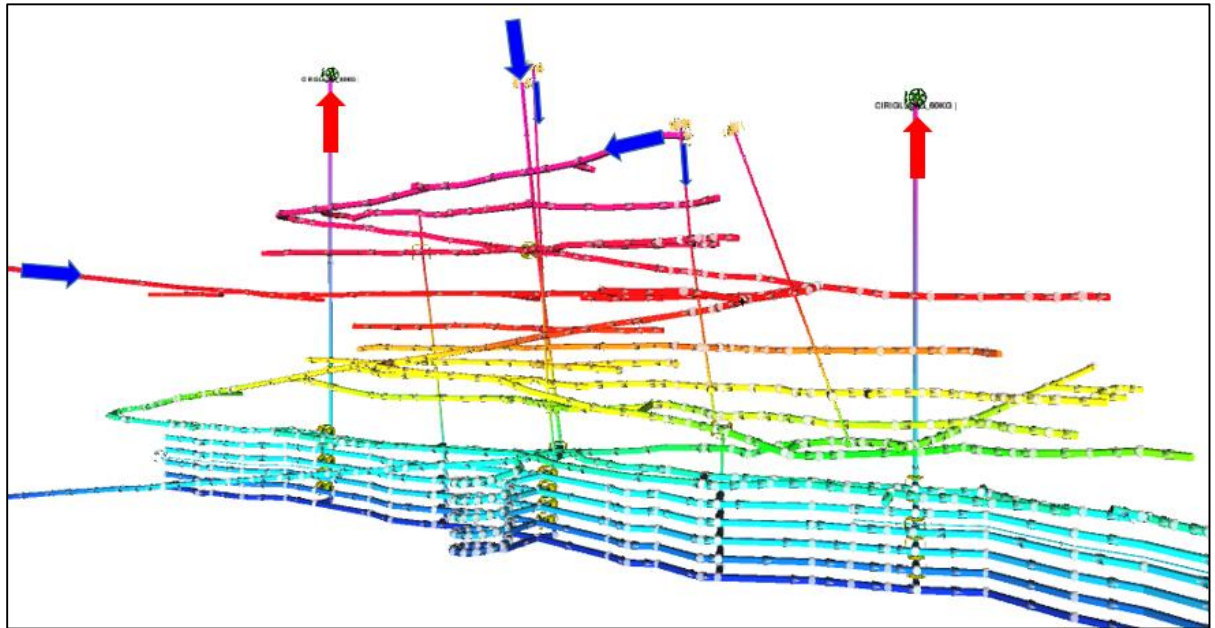


Figura 64: Modelo de ventilación en Software Ventsim – Veta Encuentro

Caudales requeridos en diferentes escenarios

Se plantean tres escenarios diferentes de requerimientos de aire, en donde se toman las actividades más críticas en cuanto a ventilación.

Se calcularon los caudales requeridos obteniendo los siguientes resultados:

Escenario	Caudal requerido total (CFM)
1	52.021,54
2	75.761,75
3	70.687,20

Tabla 60: Caudal requerido total en distintos escenarios

El caudal requerido en el *Escenario 2* es el mayor de los 3, con un valor de **75.761,75 CFM**, comparando éste con el caudal disponible **56.135,92 CFM**, se concluye que es insuficiente.

Al realizar las dos chimeneas planificadas de 2,4 m de diámetro, se tendrá mayor caudal disponible, cubriendo lo requerido por el proyecto de Veta Encuentro Inferior. Además, al



migrar el sistema de ventilación, el aire viciado permanecerá menos tiempo en el circuito, no volverá al centro, lo que nos proporciona una gran ventaja, ya que se evacuará antes por las chimeneas RB N° 1 en el caso del Sector Noroeste y RB N° 2 en el caso del sector Sudeste, formando así el Circuito Integral de Ventilación de Veta Encuentro.

Se realizó la simulación con diferentes curvas de distintas marcas de ventiladores, y se determinó que se requieren dos ventiladores axiales de alta presión con las siguientes características:

- Caudal: Entre 165 – 175 CFM
- Presión: Entre 1650 – 1750 Pa
- Potencia: 210 – 250 HP.

Cabe aclarar que cuanto menor sea la potencia del motor, menores serán los costos de energía, recordando que son ventiladores que tendrán un funcionamiento permanente en la mina. Pero a su vez, es necesario que sus características se encuentren dentro de los rangos especificados, para poder obtener un sistema de ventilación general eficiente.

Por otro lado, se realizó la simulación de la distribución de aire en los niveles a desarrollar, en donde se determina la necesidad de un sistema mixto como indica la siguiente figura (se toma como ejemplo el sector noroeste):

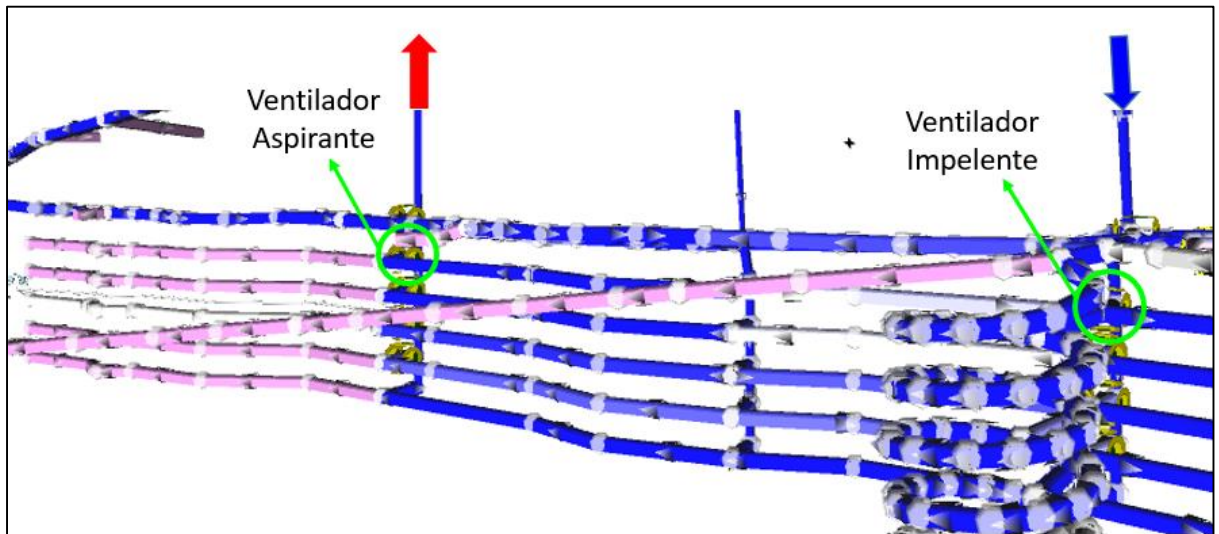


Figura 65: Sistema de ventilación mixto Veta Encuentro Inferior.

Se recomienda el uso de mangas de ventilación de diámetro 800mm tanto para los ventiladores aspirantes como impelentes, para la sección de 3,8 x 3,8m proyectada.

Una vez realizadas las chimeneas proyectadas al NO y SE, se debe evaluar nuevamente el circuito integral de ventilación de la mina, tomando las medidas en las estaciones de medición, utilizando datos reales para la nueva simulación del sistema de ventilación.



BIBLIOGRAFIA

- Ventilación de Minas. Alejandro Novitzky – Buenos Aires 1962.
- BASIC MINE VENTILATION Revision 5. © AMC Consultants Pty Ltd 2005.
- Ley 19587/79 – Dcto.351/70, Apéndice D.
- Ley 19587/79 - Dcto.351/79.
- Dcto. N° 249/07 “Reglamento de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera”.
- Norma nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo. Resolución 295/2003.
- Reglamento chileno de Seguridad Minera - Decreto Supremo N° 132, Artículo 135.
- Reglamento peruano de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería. Decreto Supremo N° 055-2010-EM Artículo 104.
- Guía Metodológica de Seguridad para Ventilación de Minas, SERNAGEOMIN, Chile.
- Tesis “Estudio y análisis de ventilación en una mina subterránea”. Ing. Zurita Chipana Ingrid. San Luis 2016.
- Trabajo Final “Monitoreo y Mejoras del Sistema de Ventilación en Mina Alto de la Blenda” Ing. Mónica del Valle Ruiz Cabezas. Catamarca 2014.
- Ventilación de Minas Subterráneas. Capacitación para trabajadores mineros Cerro Chico – Base Rey (2007).
- Ventilación de Minas, Ing. José Villanueva Torres, INTERCADE, Perú.
- Ley Provincial 2233 - Decreto E. N° 615/88- Art. 95°.
- Reglamento Peruano de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería - Decreto Supremo N° 055-2010-EM - Artículo 236.
- Reglamento de Seguridad Minera Chileno - Decreto Supremo N° 132
- Background to subsurface ventilation and environmental engineering. MALCOLM J. McPHERSON, Chapter 9.
- Ventilación de Minas – Zitrón.
- Ventsim Visual - Manual del Usuario.
- “Respiratory Dust Retention and Elimination” Proceedings of the Pneumoconiosis Conference. Johannesburg 9th – 24th February 1959. p 113,132).
- Guía N° 2 de operación para la pequeña minera – Servicio Nacional de Geología y Minería – Chile.



CAPITULO 8

ANEXO I: Planos



Planta General de Veta Esperanza SE y Veta encuentro



Estaciones de medición en Superficie – Veta Encuentro



Estaciones de medición en Superficie – Veta Esperanza SE



Vista en planta N2515 SE – Veta Encuentro



Vista en planta N2451 SE – Veta Esperanza SE



ANEXO II:

Planillas



“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

Fecha:		28/01/2019												
Planilla de Campo - VETA ENCUESTRO														
Punto	Hora	Ubicación			VELOCIDAD (m/s)									
		Nivel	Labor	Detalle	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	
V1	9:00	2600	Rampa zigzag	Antes de chimenea de servicios N°9	0,42	0,58	0,46	0,41	0,49	0,48	0,35	0,35	0,40	
V2	-	2600	Estocada	Ingreso chimenea 9 de servicios	0,05	0,01	0,04	0,03	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	
V3	-	2600	Rampa Zigzag	Antes de los 2 niveles	0,48	0,45	0,35	0,56	0,50	0,50	0,52	0,46	0,54	
V4	-	2600	Chimenea N°33	Ingreso a la chimenea , a 5m de la entrada	1,46	1,71	1,51	1,64	1,69	1,63	1,64	1,47	1,39	
V5	-	2600 NO	Galería de producción	A 11m del ingreso	0,05	0,01	0,04	0,08	0,01	0,01	0,04	0,01	0,05	
V6	-	2600SE	Galería de producción	A 9,6m del ingreso	0,39	0,23	0,24	0,25	0,18	0,25	0,31	0,32	0,38	
V7	-	2600	Rampa Zigzag	Pasando los 2 niveles	0,15	0,22	0,19	0,22	0,25	0,21	0,19	0,24	0,19	
V8	-	2566 NO		En el ingreso - sin flujo	0,09	0,06	0,07	0,12	0,07	0,10	0,14	0,07	0,07	
V9	-	2566 NO	Rampa Zigzag	Pasando el nivel 2566 NO	0,08	0,11	0,17	0,07	0,08	0,19	0,08	0,13	0,17	
V10	-	2566 SE	Rampa Zigzag	Pasando el nivel 2566 SE	0,09	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	
V11	-	Rampa 6	Rampa 6	Antes de conectar con las otras labores	0,56	0,75	0,54	0,60	0,58	0,49	0,60	0,59	0,43	
V12	-	Rampa 6	Rampa 6+ zigzag	Bajando al N2552	0,56	0,48	0,56	0,66	0,65	0,65	0,62	0,61	0,70	
V13	-	2515 SE	Chimenea N°33	Acceso a chimenea	0,28	0,34	0,51	0,44	0,38	0,37	0,39	0,47	0,40	
V14	-	2515	Rampa Acceso al N251	Pasando el acceso	0,26	0,10	0,14	0,35	0,19	0,28	0,37	0,45	0,32	
V15	-	2515	Rampa Acceso al N251	Antes del acceso al nivel	0,48	0,32	0,33	0,24	0,27	0,14	0,04	0,03	0,08	
V16	-	2515	Acceso al N2487	Continuación del acceso al N2515	0,20	0,10	0,05	0,18	0,09	0,05	0,25	0,12	0,05	
V17	-	2507	Acceso al N2507	Antes de las cámaras (abierta al N2487)	0,20	0,40	0,20	0,70	0,24					
V18	-	2487	Chimenea N°33	(Cámara abierta)										
V19	16:00	2487	Rampa	Pasando el ingreso a la labor	0,40	0,13	0,90	0,30	0,71	0,90	0,10	0,86	0,75	

DIRECCIÓN DEL FLUJO	TEMP. °C	SECCION		AREA m2	VELOCIDAD		CAUDAL			MEDICION GASES	
		a (m)	h (m)		m/s	m/min	m3/min	m3/s	cfm	O2 (%)	CO (ppm)
Ingresa	16,3	4,4	4,1	16,81	0,44	26,27	441,56	7,36	15.594	20,8	0
ingresa	16,2	5,2	4,6	22,39	0,02	1,40	31,35	0,52	1.107	20,8	0
ingresa	16	4,2	3,9	15,29	0,48	29,07	444,39	7,41	15.694	20,8	0
ingresa/aspira	15,5	3,2	2,8	8,40	1,57	94,27	792,26	13,20	27.979	20,8	0
Sale	15,9	4,5	3,8	15,96	0,03	2,00	31,91	0,53	1.127	20,8	0
Sale	16,3	4,0	3,3	12,38	0,28	17,00	210,49	3,51	7.433	20,8	0
Sube	15,8	4,2	4,0	15,84	0,21	12,40	196,42	3,27	6.937	20,8	0
-	16,9	4,1	4,3	16,54	0,09	5,27	87,09	1,45	3.076	20,8	0
-	15,2	4,6	3,8	16,40	0,12	7,20	118,05	1,97	4.169	20,8	0
-	15,2	4,3	3,7	14,92	0,03	1,67	24,87	0,41	878	20,8	0
Ingresa/baja	13,4	4,5	4,3	18,23	0,57	34,27	624,71	10,41	22.062	20,8	0
Ingresa/baja	13,3	5,1	3,5	16,74	0,61	36,60	612,80	10,21	21.641	20,8	0
ingresa/aspira	16,3	3,4	3,2	10,21	0,40	23,87	243,57	4,06	8.602	20,8	5
ingresa/baja	15	4,2	3,5	13,81	0,27	16,40	226,45	3,77	7.997	20,8	7
ingresa	14,9	4,6	3,7	15,96	0,21	12,87	205,41	3,42	7.254	20,8	0
ingresa/baja	15	4,2	3,9	15,36	0,12	7,27	111,65	1,86	3.943	20,8	9
ingresa		4,6	3,4	14,67	0,35	20,88	306,32	5,11	10.818	20,8	0
		2,9	2,9	7,78							
ingresa/baja		4,2	3,9	15,44	0,56	33,67	519,73	8,66	18.354	20,8	8



“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

Fecha:		10/02/2019											
Planilla de Campo - VETA ENCUENTRO													
Punto	Hora	Ubicación			VELOCIDAD (m/s)								
		Nivel	Labor	Detalle	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
V1	9:30	2600	Rampa zigzag	Antes de chimenea de servicios N°9									
V2	-	2600	Estocada	Ingreso chimenea 9 de servicios									
V3	-	2600	Rampa Zigzag	Antes de los 2 niveles	0,42	0,45	0,27	0,39	0,42	0,26	0,46	0,45	0,55
V4	-	2600	Chimenea N°33	Ingreso a la chimenea , a 5m de la entrada	1,54	1,76	1,56	1,57	1,35	1,52	1,62	1,41	1,05
V5	-	2600 NO	Galería de producción	A 11m del ingreso	0,11	0,11	0,07	0,08	0,07	0,12	0,10	0,15	0,09
V6	-	2600SE	Galería de producción	A 9,6m del ingreso	0,26	0,14	0,17	0,27	0,17	0,22	0,28	0,28	0,18
V7	-	2600	Rampa Zigzag	Pasando los 2 niveles	0,05	0,09	0,08	0,05	0,05	0,07	0,03	0,03	0,08
V8	-	2566 NO		En el ingreso - sin flujo									
V9	-	2566 NO	Rampa Zigzag	Pasando el nivel 2566 NO									
V10	-	2566 SE	Rampa Zigzag	Pasando el nivel 2566 SE	0,06	0,02	0,06	0,13	0,02	0,01	0,05	0,03	0,04
V11	-	Rampa 6	Rampa 6	Antes de conectar con las otras labores	0,59	0,58	0,46	0,48	0,57	0,56	0,57	0,49	0,58
V12	-	Rampa 6	Rampa 6+ zigzag	Bajando al N2552	0,41	0,34	0,46	0,59	0,60	0,63	0,60	0,61	0,60
V13	-	2515 SE	Chimenea N°33	Acceso a chimenea	0,35	0,43	0,55	0,34	0,55	0,60	0,48	0,53	0,54
V14	-	2515	Rampa Acceso al N251	Pasando el acceso	0,11	0,16	0,05	0,15	0,07	0,04	0,16	0,12	0,08
V15	-	2515	Rampa Acceso al N251	Antes del acceso al nivel	0,48	0,47	0,52	0,50	0,42	0,36	0,29	0,37	0,21
V16	-	2515	Acceso al N2487	Continuación del acceso al N2515	0,19	0,12	0,07	0,18	0,10	0,07	0,22	0,05	0,10
V17	-	2507	Acceso al N2507	Antes de las cámaras (abierto al N2487)	0,35	0,29	0,22	0,45	0,30				
V18	-	2487	Chimenea N°33	(Cámara abierta)									
V19	17:00	2487	Rampa	Pasando el ingreso a la labor	0,32	0,25	0,75	0,46	0,60	0,20	0,75	0,90	0,85

DIRECCIÓN DEL FLUJO	TEMP. °C	SECCION		AREA m2	VELOCIDAD		CAUDAL			MEDICION GASES	
		a (m)	h (m)		m/s	m/min	m3/min	m3/s	cfm	O2 (%)	CO (ppm)
Ingresa		4,4	4,1	16,81							
ingresa		5,2	4,6	22,39							
ingresa	16,2	4,2	3,9	15,29	0,41	24,47	374,06	6,23	13.210	20,8	0
ingresa/aspira	16,2	3,2	2,8	8,40	1,49	89,20	749,68	12,49	26.475	20,8	0
Sale	16,5	4,5	3,8	15,96	0,10	6,00	95,73	1,60	3.381	20,8	0
Sale	16	4,0	3,3	12,38	0,22	13,13	162,61	2,71	5.743	20,8	0
Sube	15,7	4,2	4,0	15,84	0,06	3,53	55,97	0,93	1.977	20,8	0
-		4,1	4,3	16,54							
-		4,6	3,8	16,40							
-	15,2	4,3	3,7	14,92	0,05	2,80	41,79	0,70	1.476	20,8	0
Ingresa/baja	14,2	4,5	4,3	18,23	0,54	32,53	593,11	9,89	20.946	20,8	0
Ingresa/baja	13,4	5,1	3,5	16,74	0,54	32,27	540,25	9,00	19.079	20,8	0
ingresa/aspira	14,3	3,4	3,2	10,21	0,49	29,13	297,32	4,96	10.500	20,8	0
ingresa/baja	15,8	4,2	3,5	13,81	0,10	6,27	86,53	1,44	3.056	20,8	0
ingresa	16,1	4,6	3,7	15,96	0,40	24,13	385,28	6,42	13.606	20,8	0
ingresa/baja		4,2	3,9	15,36	0,12	7,33	112,67	1,88	3.979	20,8	0
ingresa		4,6	3,4	14,67	0,32	19,32	283,43	4,72	10.009	20,8	0
		2,9	2,9	7,78							
ingresa/baja		4,2	3,9	15,44	0,56	33,87	522,82	8,71	18.463	20,8	0



“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

Fecha: 10/03/2019

Planilla de Campo - VETA ENCUESTRO

Punto	Hora	Ubicación			VELOCIDAD (m/s)									
		Nivel	Labor	Detalle	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	
V1	8:30	2600	Rampa zigzag	Antes de chimenea de servicios N°9										
V2	-	2600	Estocada	Ingreso chimenea 9 de servicios										
V3	-	2600	Rampa Zigzag	Antes de los 2 niveles	0,73	0,57	0,35	0,40	0,42	0,41	0,59	0,45	0,59	
V4	-	2600	Chimenea N°33	Ingreso a la chimenea , a 5m de la entrada	1,71	1,69	1,93	1,06	1,50	1,88	1,77	1,75	1,73	
V5	-	2600 NO	Galería de producción	A 11m del ingreso	0,06	0,07	0,04	0,10	0,05	0,03	0,15	0,07	0,05	
V6	-	2600SE	Galería de producción	A 9,6m del ingreso	0,18	0,06	0,05	0,20	0,11	0,14	0,23	0,28	0,11	
V7	-	2600	Rampa Zigzag	Pasando los 2 niveles	0,59	0,55	0,46	0,62	0,62	0,44	0,44	0,63	0,40	
V8	-	2566 NO		En el ingreso - sin flujo										
V9	-	2566 NO	Rampa Zigzag	Pasando el nivel 2566 NO										
V10	-	2566 SE	Rampa Zigzag	Pasando el nivel 2566 SE	0,33	0,29	0,21	0,25	0,15	0,20	0,13	0,10	0,15	
V11	-	Rampa 6	Rampa 6	Antes de conectar con las otras labores	0,80	0,83	0,84	0,81	0,82	0,66	0,73	0,82	0,68	
V12	-	Rampa 6	Rampa 6+ zigzag	Bajando al N2552	0,61	0,64	0,67	0,59	0,58	0,76	0,76	0,55	0,70	
V13	-	2515 SE	Chimenea N°33	Acceso a chimenea	0,40	0,47	0,44	0,47	0,46	0,46	0,44	0,38	0,36	
V14	-	2515	Rampa Acceso al N251	Pasando el acceso	0,35	0,33	0,32	0,33	0,32	0,29	0,41	0,26	0,40	
V15	-	2515	Rampa Acceso al N251	Antes del acceso al nivel	0,71	0,44	0,42	0,25	0,33	0,38	0,35	0,10	0,12	
V16	-	2515	Acceso al N2487	Continuación del acceso al N2515	0,17	0,21	0,28	0,21	0,32	0,30	0,34	0,28	0,27	
V17	-	2507	Acceso al N2507	Antes de las cámaras (abierto al N2487)	0,09	0,14	0,17	0,10	0,17	0,11	0,10	0,23	0,23	
V18	-	2487	Chimenea N°33	(Cámara abierta)	0,13	0,15	0,21	0,24	0,22	0,18	0,22	0,24	0,23	
V19	17:30	2487	Rampa	Pasando el ingreso a la labor	0,48	0,32	0,38	0,37	0,48	0,49	0,68	0,68	0,70	

DIRECCIÓN DEL FLUJO	TEMP. °C	SECCION		AREA	VELOCIDAD		CAUDAL			MEDICION GASES	
		a (m)	h (m)	m2	m/s	m/min	m3/min	m3/s	cfm	O2 (%)	CO (ppm)
Ingresa		4,4	4,1	16,81							
ingresa		5,2	4,6	22,39							
ingresa	15,9	4,2	3,9	15,29	0,50	30,07	459,68	7,66	16.233	20,8	0
ingresa/aspira	16	3,2	2,8	8,40	1,67	100,13	841,57	14,03	29.720	20,8	0
Sale	15,3	4,5	3,8	15,96	0,07	4,13	65,95	1,10	2.329	20,8	0
Sale	13,5	4,0	3,3	12,38	0,15	9,07	112,26	1,87	3.964	20,8	0
Sube	14,4	4,2	4,0	15,84	0,53	31,67	501,61	8,36	17.714	20,8	0
-		4,1	4,3	16,54							
-		4,6	3,8	16,40							
-	12,5	4,3	3,7	14,92	0,20	12,07	180,08	3,00	6.359	20,8	0
Ingresa/baja	13	4,5	4,3	18,23	0,78	46,60	849,56	14,16	30.002	20,8	0
Ingresa/baja	11,5	5,1	3,5	16,74	0,65	39,07	654,10	10,90	23.100	20,8	0
ingresa/aspira	14,8	3,4	3,2	10,21	0,43	25,87	263,98	4,40	9.322	20,8	0
ingresa/baja	15,2	4,2	3,5	13,81	0,33	20,07	277,08	4,62	9.785	20,8	0
ingresa		4,6	3,7	15,96	0,34	20,67	329,94	5,50	11.652	20,8	0
ingresa/baja	16,5	4,2	3,9	15,36	0,26	15,87	243,78	4,06	8.609	20,8	0
ingresa	15,4	4,6	3,4	14,67	0,15	8,93	131,05	2,18	4.628	20,8	0
Baja	16,5	4,6	4,9	21,14	0,20	12,13	256,53	4,28	9.059	20,8	0
Baja	14,7	4,0	3,9	14,63	0,51	30,53	446,79	7,45	15.778	20,8	0



“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

Fecha: 25/01/2019

Planilla de Campo - VETA ESPERANZA SE

Punto	Hora	Ubicación			VELOCIDAD (m/s)								
		Nivel	Labor	Detalle	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
V1E	8:30	2517	Pasando Subestación	Antes del tapado en Ch N°23	0,03	0,04	0,02	0,05	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01
V2E	-	2517	Rampa Acceso	Al N2446 V. Encuentro	0,24	0,31	0,35	0,27	0,23	0,20	0,15	0,15	0,11
V3E	-	2517	Rampa Acceso	Antes de Rampa Ac. a Veta Enc.	0,26	0,10	0,05	0,21	0,07	0,04	0,09	0,07	0,05
V4E	-	2517	Rampa Principal	Antes del ingreso al N2497	0,15	0,18	0,09	0,05	0,01	0,06	0,14	0,13	0,08
V5E	-	2517	Rampa Acceso	Ingresando a niveles inferiores	0,40	0,46	0,44	0,42	0,45	0,37	0,42	0,47	0,44
V6E	-	2497	Acceso al 2497 NO y SE	Ingreso al Nivel	0,18	0,11	0,16	0,07	0,11	0,09	0,04	0,09	0,04
V7E	-	2497	Rampa Acceso	Pasando el N2497	0,43	0,49	0,48	0,44	0,49	0,43	0,54	0,55	0,53
V8E	-	2497	Rampa Acceso	Chimenea N°27	0,65	0,35	0,41	0,49	0,46	0,36	0,64	0,42	0,38
V9E	-	2477 SE	Acceso al N2477 SE	Ingreso al Nivel	0,04	0,03	0,02	0,08	0,05	0,04	0,20	0,16	0,09
V10E	-	2477 SE	Rampa Acceso	Pasando el N2477 SE	0,53	0,55	0,44	0,55	0,37	0,42	0,33	0,38	0,35
V11E	-	2477 NO	Acceso al N2477 NO	Ingreso al Nivel	0,09	0,15	0,11	0,09	0,09	0,05	0,14	0,07	0,05
V12E	-	2477	Rampa Acceso al N2451	Pasando el N 2477 NO	0,27	0,23	0,31	0,32	0,21	0,21	0,34	0,35	0,29
V13E	-	2460	Acceso a los N2460 NO y SE	Tope ciego - sin conexiones aún									
V14E	-	2460	Rampa Acceso al N2451	Pasando el N2460	0,50	0,42	0,29	0,53	0,25	0,23	0,34	0,26	0,18
V15E	-	2451 SE		Ingreso al Nivel	0,27	0,24	0,22	0,15	0,24	0,23	0,18	0,10	0,16
V16E	15:00	2451 NO		Ingreso al Nivel	0,43	0,35	0,47	0,34	0,49	0,54	0,46	0,57	0,56

DIRECCIÓN DEL FLUJO	TEMP. °C	SECCION		AREA m2	VELOCIDAD		CAUDAL			MEDICION GASES	
		a (m)	h (m)		m/s	m/min	m3/min	m3/s	cfm	O2 (%)	CO (ppm)
Ingres a Ch	18	4,9	3,7	17,01	0,02	1,47	24,94	0,42	881	20,8	0
Ingres a/Baja	15,1	4,2	4,1	16,15	0,22	13,40	216,44	3,61	7.644	20,8	0
Ingres a	15,2	4,6	4,4	18,82	0,10	6,27	117,94	1,97	4.165	20,8	0
Ingres a	14,9	4,7	4,3	18,96	0,10	5,93	112,48	1,87	3.972	20,8	0
Ingres a/Baja	14,9	4,4	3,7	15,11	0,43	25,80	389,72	6,50	13.763	20,8	0
Ingres a	14,8	5,8	4,0	21,76	0,10	5,93	129,12	2,15	4.560	20,8	0
Ingres a/Baja	15,1	5,1	3,9	18,66	0,49	29,20	544,78	9,08	19.239	20,8	0
Ingres a/Baja	15	5,1	4,2	20,09	0,46	27,73	557,22	9,29	19.678	20,8	0
Ingres a	15,7	5,4	4,1	20,69	0,08	4,73	97,93	1,63	3.459	20,8	0
Ingres a/Baja	15	4,4	3,4	14,03	0,44	26,13	366,72	6,11	12.951	20,8	0
Ingres a	16,4	5,6	4,7	24,53	0,09	5,60	137,37	2,29	4.851	20,8	0
Ingres a/Baja	15,6	5,0	4,1	19,23	0,28	16,87	324,33	5,41	11.454	20,8	0
		3,6	3,2	10,81							
Ingres a/Baja	16,4	4,7	4,4	19,40	0,33	20,00	387,96	6,47	13.701	20,8	0
Sale	20,7	4,4	4,3	17,75	0,20	11,93	211,78	3,53	7.479	20,8	5
Ingres a	18,9	4,2	3,4	13,39	0,47	28,07	375,94	6,27	13.276	20,8	8



“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

Fecha: 07/02/2019

Planilla de Campo - VETA ESPERANZA SE

Punto	Hora	Ubicación			VELOCIDAD (m/s)								
		Nivel	Labor	Detalle	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
V1E	8:30	2517	Pasando Subestación	Antes del tapado en Ch N°23	0,34	0,26	0,19	0,40	0,45	0,26	0,42	0,38	0,35
V2E	-	2517	Rampa Acceso	Al N2446 V. Encuentro	0,74	0,77	0,76	0,76	0,78	0,77	0,65	0,82	0,73
V3E	-	2517	Rampa Acceso	Antes de Rampa Ac. a Veta Enc.	0,35	0,31	0,27	0,41	0,29	0,42	0,38	0,35	0,41
V4E	-	2517	Rampa Principal	Antes del ingreso al N2497	0,44	0,41	0,38	0,44	0,45	0,37	0,45	0,46	0,37
V5E	-	2517	Rampa Acceso	Ingresando a niveles inferiores	0,73	0,70	0,67	0,77	0,74	0,59	0,56	0,56	0,78
V6E	-	2497	Acceso al 2497 NO y SE	Ingreso al Nivel	0,27	0,14	0,25	0,25	0,09	0,05	0,07	0,03	0,03
V7E	-	2497	Rampa Acceso	Pasando el N2497	0,49	0,51	0,40	0,44	0,31	0,44	0,31	0,37	0,39
V8E	-	2497	Rampa Acceso	Chimenea N°27	0,45	0,55	0,56	0,70	0,51	0,53	0,42	0,47	0,44
V9E	-	2477 SE	Acceso al N2477 SE	Ingreso al Nivel	0,15	0,21	0,20	0,13	0,05	0,11	0,05	0,03	0,06
V10E	-	2477 SE	Rampa Acceso	Pasando el N2477 SE	0,33	0,34	0,25	0,39	0,37	0,34	0,43	0,43	0,46
V11E	-	2477 NO	Acceso al N2477 NO	Ingreso al Nivel	0,11	0,05	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03	0,06	0,03
V12E	-	2477	Rampa Acceso al N2451	Pasando el N 2477 NO	0,33	0,37	0,31	0,38	0,36	0,34	0,31	0,29	0,32
V13E	-	2460	Acceso a los N2460 NO y SE	Tope ciego - sin conexiones aún	0,03	0,01	0,05	0,02	0,05	0,10	0,02	0,04	0,10
V14E	-	2460	Rampa Acceso al N2451	Pasando el N2460	0,55	0,27	0,29	0,51	0,23	0,19	0,33	0,38	0,33
V15E	-	2451 SE		Ingreso al Nivel	0,22	0,14	0,27	0,24	0,27	0,29	0,24	0,30	0,19
V16E	15:00	2451 NO		Ingreso al Nivel	0,38	0,40	0,44	0,39	0,49	0,40	0,55	0,55	0,57

DIRECCIÓN DEL FLUJO	TEMP. °C	SECCION		AREA m2	VELOCIDAD			CAUDAL		MEDICION GASES	
		a (m)	h (m)		m/s	m/min	m3/min	m3/s	cfm	O2 (%)	CO (ppm)
Ingres a Ch	19,3	4,9	3,7	17,01	0,34	20,33	345,79	5,76	12.211	20,8	0
Sale	14,5	4,2	4,1	16,15	0,75	45,20	730,09	12,17	25.783	20,8	0
Ingres a	14,9	4,6	4,4	18,82	0,35	21,27	400,24	6,67	14.134	20,8	0
Ingres a	14,1	4,7	4,3	18,96	0,42	25,13	476,45	7,94	16.826	20,8	0
Ingres a/Baja	13,1	4,4	3,7	15,11	0,68	40,67	614,29	10,24	21.694	20,8	0
Ingres a	15,1	5,8	4,0	21,76	0,13	7,87	171,19	2,85	6.046	20,8	0
Ingres a/Baja	13,8	5,1	3,9	18,66	0,41	24,40	455,23	7,59	16.076	20,8	0
Ingres a/Baja	14,4	5,1	4,2	20,09	0,51	30,87	620,17	10,34	21.901	20,8	0
Ingres a	16,1	5,4	4,1	20,69	0,11	6,60	136,56	2,28	4.822	20,8	0
Ingres a/Baja	14,1	4,4	3,4	14,03	0,37	22,27	312,46	5,21	11.034	20,8	0
Ingres a	14,9	5,6	4,7	24,53	0,05	2,73	67,05	1,12	2.368	20,8	0
Ingres a/Baja	14,6	5,0	4,1	19,23	0,33	20,07	385,86	6,43	13.627	20,8	0
Sin mov	15	3,6	3,2	10,81	0,05	2,80	30,26	0,50	1.068	20,8	0
Ingres a/Baja	16,1	4,7	4,4	19,40	0,34	20,53	398,30	6,64	14.066	20,8	0
Sale	22	4,4	4,3	17,75	0,24	14,40	255,56	4,26	9.025	20,8	0
Ingres a	19,9	4,2	3,4	13,39	0,46	27,80	372,37	6,21	13.150	20,8	0



ANEXO III:

Equipos



Termo-Anemómetro con sonda de hilo caliente

Características:

1. Anemómetro térmico, disponible para medir la velocidad del aire muy baja.
2. Sonda delgada, ideal para rejillas y difusores.
3. Combinación de cable caliente y termistor estándar, proporciona mediciones rápidas y precisas.
4. Registra lecturas máxima/mínima con memoria y almacenamiento de datos.
5. El circuito de microprocesador asegura la máxima precisión posible, proporciona funciones y características especiales.
6. Pantalla LCD grande con retroiluminación, lectura de la velocidad del aire y la temperatura. Al mismo tiempo.
7. El Anemómetro portátil proporciona lecturas rápidas y precisas, con lectura digital
8. Multifunciones para la medición del flujo de aire: m/s, km/h, ft/min, MPH, nudos y temperatura incorporada °C/°F
9. sensor de termistor para medición de temperatura y tiempo de respuesta rápido.



Aplicaciones:

Pruebas medioambientales, transportadores de aire, campanas de flujo, salas limpias, velocidad del aire, equilibrio del aire, ventiladores/motores/sopladores, velocidad del horno, caja refrigerada y cabinas de pintura.

Velocidad del aire	Rango	Resolución	Precisión
m/s (metros por segundo)	0.1–25.0	0.01	±5% ±0.1 m/s
ft/min (pies por minuto)	20–4925	1	±5% ±1 ft/min
km/h (kilómetros por hora)	0.3–90.0	0.1	±5% ±0.1 km/h
MPH (millas por hora)	0.2–55.8	0.1	±5% ±0.1 MPH
Nudos (millas náuticas por horas)	0.2–48.5	0.1	±5% ±0.1 nudos

Temperatura	Rango	Precisión
°C	0–50	1°C



Distanciómetro Leica Disto D510

El Leica DISTO™ D510 es un LDM de 14 modos de medición que tiene una precisión de 1/16 de pulgada. Tiene una clasificación IP65 contra el polvo, la suciedad y la lluvia y presenta un buscador de puntos, una pantalla LCD brillante, un sensor de inclinación de 360° y Bluetooth Smart.

El módulo láser D510 puede leer un objetivo a distancias que exceden su capacidad para ver el punto láser. Con el buscador de puntos, una cámara digital con zoom de 4x, encontrará su objetivo en la pantalla, extendiendo el rango de uso a un máximo de ~ 650 pies.

Cuanto más lejos puedas disparar, más potencial habrá para que algo se interponga en el camino. Smart Horizontal le permite disparar sobre los obstáculos para que pueda medir la distancia horizontal hasta su objetivo.

A distancia, un pequeño bamboleo en la herramienta rebota el punto láser en arcos amplios. Esto es subóptimo para adquirir energía láser reflejada. Para obtener los mejores resultados al medir distancias largas, mantenga su punto constante con un trípode y nuestro Adaptador.



Sketch aplicación móvil

Cree un boceto en su teléfono inteligente o tableta y luego asigne las medidas de distancia tomadas con su DISTO™ a cada línea. La función “escala automática” de la aplicación ajusta la longitud de las líneas y el resultado estará listo para exportar en CAD.

Compatibilidad CAD

Cree planos de planta listos para CAD con su DISTO™ X3 o X4 simplemente tomando medidas de una habitación en sentido horario o antihorario. Una vez que se toman todas las medidas, la función Smart Room de la aplicación genera automáticamente el plan.

Mida con facilidad






La tecnología de punto a punto y las funciones de ‘Planear’ y ‘Medir fachada’ de la aplicación hacen posible crear planos detallados de pisos y paredes, incluyendo puertas y ventanas. Puede exportar sus planes desde dispositivos que admiten esta funcionalidad como archivos dxf o dwg directamente en su solución CAD preferida.

Puntos ciegos




La función ‘Measure Façade’ de la aplicación DISTO™ Plan facilita la medición de puntos ocultos detrás de objetos. Simplemente toma tus medidas y la aplicación calcula automáticamente los puntos ocultos.

		
Pantalla LCD	Puntero	Bluetooth Smart
Pantalla con cámara que le permite medir sobre la imagen captada	El puntero permite medir objetos lejanos gracias a sus 4 aumentos	Con Bluetooth® Smart transfiera datos a smartphones y tabletas

Conectividad

La tecnología inteligente Leica DISTO™ Bluetooth® le permite asignar mediciones de distancia a la parte apropiada de una foto tomada con su tableta o teléfono inteligente.

 Características Técnicas: Leica DISTO D510	
Precisión	• +/- 1mm
Alcance	• 0.05 – 200 m
Power Range Technology	• Sí
Sensor de inclinación	• 360°
Visor digital integrado	• 4 x Zoom
Memoria	• 30 displays
Certificado de protección	• IP 65
Alimentación	• 2 x AA (1,5V)
Conexión	• Bluetooth® smart
App Leica DISTO™ sketch gratis	• iPhone, iPad, iPod touch with Bluetooth 4.0



Detector de gas Monóxido MSA – Medidor de oxígeno MSA



Detector monogas ALTAIR®

Detectores monogas

Los detectores monogas son una manera económica de monitorear un gas específico. Los detectores de un solo gas de MSA pueden utilizarse para un monitoreo continuo de CO, O2, ó H2S, entre otros.

Diseñado para una vida superior, los sensores patentados operan por más de dos años, y de alto rendimiento, el Detector monogas ALTAIR® es la opción inteligente para el mercado, son los monitores de gas con el mejor costo-beneficio y líderes en el mercado. Opciones de sensor para monóxido de carbono, ácido sulfhídrico y oxígeno, junto con alarmas audibles, de vibración y LED. Protección superior contra partículas/agua, alta resistencia a la RFI, y operación de un solo botón proporcionan la mejor seguridad, además de una mayor durabilidad y facilidad de uso.



Puntos Destacados

- Opciones de sensor para CO, H2S y O2
- Sensores electroquímicos patentados
- Construcción de acero inoxidable y de electrolito sólido eliminan las fugas sensor
- Registra automáticamente los últimos 25 eventos de alarmas/pruebas y se pueden comunicar/descargar los datos a una computadora mediante la conexión a MSA Link a través de un puerto de comunicación IR (transreceptor)
- Triple sistema de alarma incluye LED's luminosos intermitentes, alarma audible y una alarma vibratoria
- Carcasa de goma y operación de un solo botón para una máxima durabilidad y simplicidad



ESPECIFICACIONES TECNICAS ALTAIR

Peso	86 grs.
Dimensiones	8,1cm x 5,1 cm x 2,3 cm
Humedad	10-95% HR no condensable
Alarmas	Promedio > 95dB@ 30cm. Luminosos LEDs, Alarma Vibratoria
Garantía	2 años o 1080 min. de alarma bajo condiciones normales de uso
Vida del Instrumento	>2 años a una media de 2 min. de alarma por día
Batería	Modelo CR2 de Litio (9000 hs)
Carcasa	Policarbonato cubierta con caucho
Rango Operativo	-20°C a +50°C
Protección de Estanqueidad	IP67
Certificaciones Usa y Canadá	CSA cUL para Clase 1, División 1, Grupos A, B, C y D. US Bureau of Shipping
Europa	ATEX II 2G EEx ia IIC T4 - 20°C a +50°C
Australia	EEx ia IIC T4 - 20°C a +50°C

Aplicaciones



Plantas Químicas



Industria Alimenticia



Manufactura



Servicios Públicos



OGP



Minería



Laboratorio



Espacios Confinados

Características y Beneficios

- Robusto diseño de fácil agarre.
- Pantalla de fácil lectura.
- Sencilla verificación con gas, con indicador durante 24 horas.
- Alarma acústica de 95 dB a 30 cm.
- Potente alarma vibratoria.
- 4 LEDs ultra luminosos.
- Registro de los últimos 25 eventos.
- Bajada a PC disponible. Comunicación IR.
- Grado de Protección IP 67.



Detector monogas ALTAIR® PRO

Basado en el estándar de la industria del Detector monogas ALTAIR®, pero con características adicionales y de funcionalidad. Los Detectores monogas ALTAIR® Pro para gases tóxicos y de oxígeno, combinan la detección confiable y alarmas audibles, intermitentes, vibrantes, LED con pantallas claras LCD a contraluz. Los sensores electroquímicos miden concentraciones de gases tóxicos o por ciento para oxígeno (O₂, ClO₂, HCN, PH₃). Construido específicamente para la protección contra polvos y agua, excelente resistencia al impacto y excelente rendimiento RFI.



Puntos Destacados

- Dependiendo de la Unidad detecta entre distintos tipos de gases O₂, ClO₂, HCN, PH₃
- Concentración de gas o por ciento de oxígeno, se muestran en una pantalla grande LCD, clara y retroiluminada
- Registra automáticamente los últimos 50 acontecimientos de alarma/pruebas mientras graba simultáneamente lecturas de gas pico o lecturas bajas de O₂, cada tres minutos en un registro de datos periódico
- El usuario puede leer los datos o cambiar los puntos de ajuste de alarma a través de la conexión al MSA Link y un puerto de comunicación IR
- Puntos de ajuste de alarma
- Sistema de alarmas que incluye LEDs luminosos intermitentes, alarma audible, notificación LCD, y una alarma vibratoria interna
- Carcasa resistente y operación de un solo botón para una máxima durabilidad y simplicidad
- Fácil comprobación de alarma, verificación, aire limpio cero y calibración
- Baterías y sensores fácilmente reemplazables

ESPECIFICACIONES TECNICAS ALTAIR PRO		
Peso	113 grs. Incluyendo el clip	
Dimensiones	8,6 cm x 5,1 cm x 2,5 cm	
Rango de temperatura	-50 a +50° C	
Humedad	10-95% HR no condensable	
Alarmas	Promedio > 95dB@ 30cm. Luminosos LEDs, Alarma Vibratoria - versión estándar	
Garantía	Ver manual para información	
Vida del Instrumento	Indefinida con reemplazo del sensor y la batería cuando sea necesario	
Batería	Modelo CR2 de Litio (9000 hs)	
Carcasa	Policarbonato cubierta con caucho	
Pantalla	LCD amplio con luz de fondo	
Protección	IP67 (excepto O ₂ -R es IP54)	
Cargador de Datos	50 últimos eventos durante el incendio. Valor tope cada 3 min. Durante cada carga	
Gases	Rango	Resolución
Oxígeno	0-25% por Vol	0,1 Vol%
Monóxido de Carbono	0-1500 ppm	1 ppm
Sulfuro de Hidrógeno	0-200 ppm	1 ppm
Cianuro de Hidrógeno	0-30 ppm	0,5 ppm
Cloro	0-20 ppm	0,1 ppm
Dióxido de Cloro	0-1,00 ppm	0,02 ppm
Dióxido de Azufre	0-20 ppm	0,1 ppm
Dióxido de Nitrógeno	0-20 ppm	0,1 ppm
Amoníaco	0-100 ppm	1 ppm
Fosfina	0-5,500 ppm	1 ppm
Oxígeno Remoto (O ₂ -R)	0-25% Vol.	0,1 Vol %



Aplicaciones





Curvas características de los equipos de ventilación

Curva Ventilador EPIROC AVH71

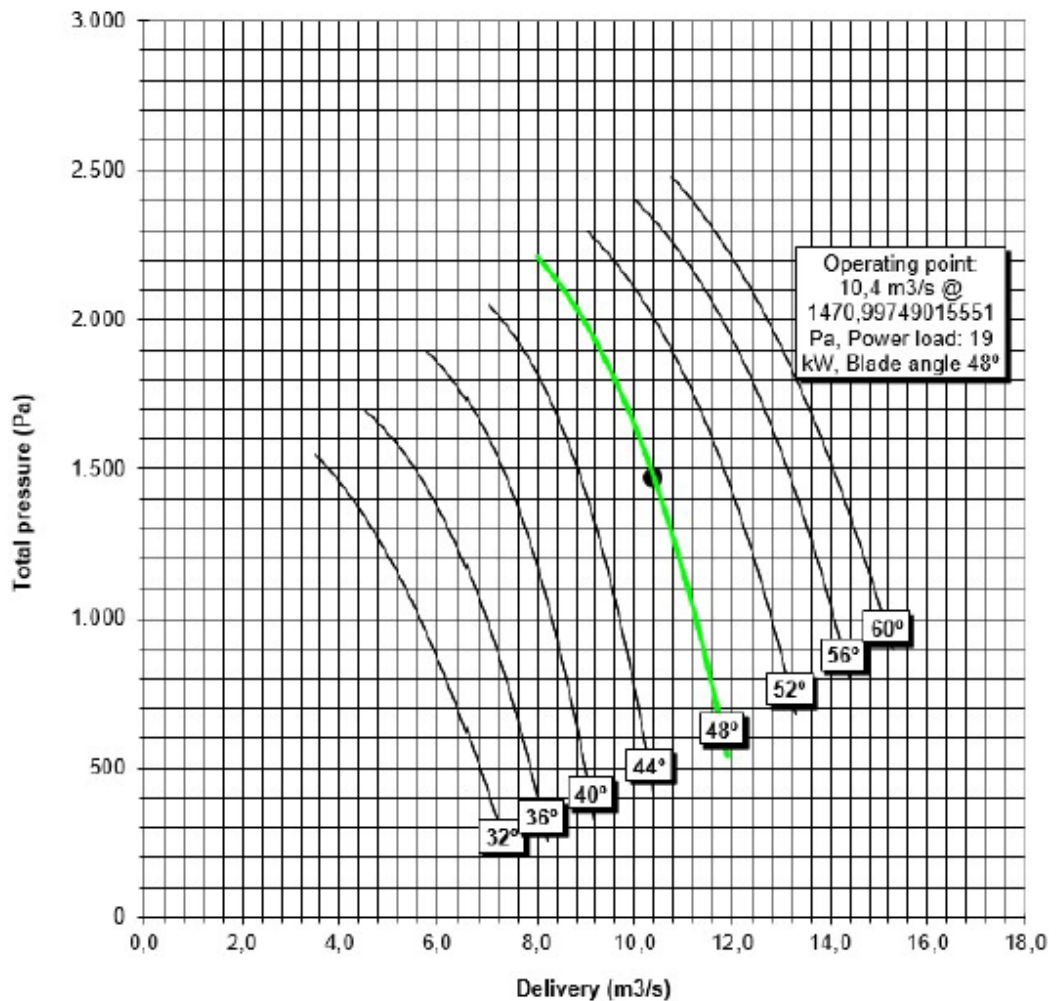


United in performance.
Inspired by innovation.



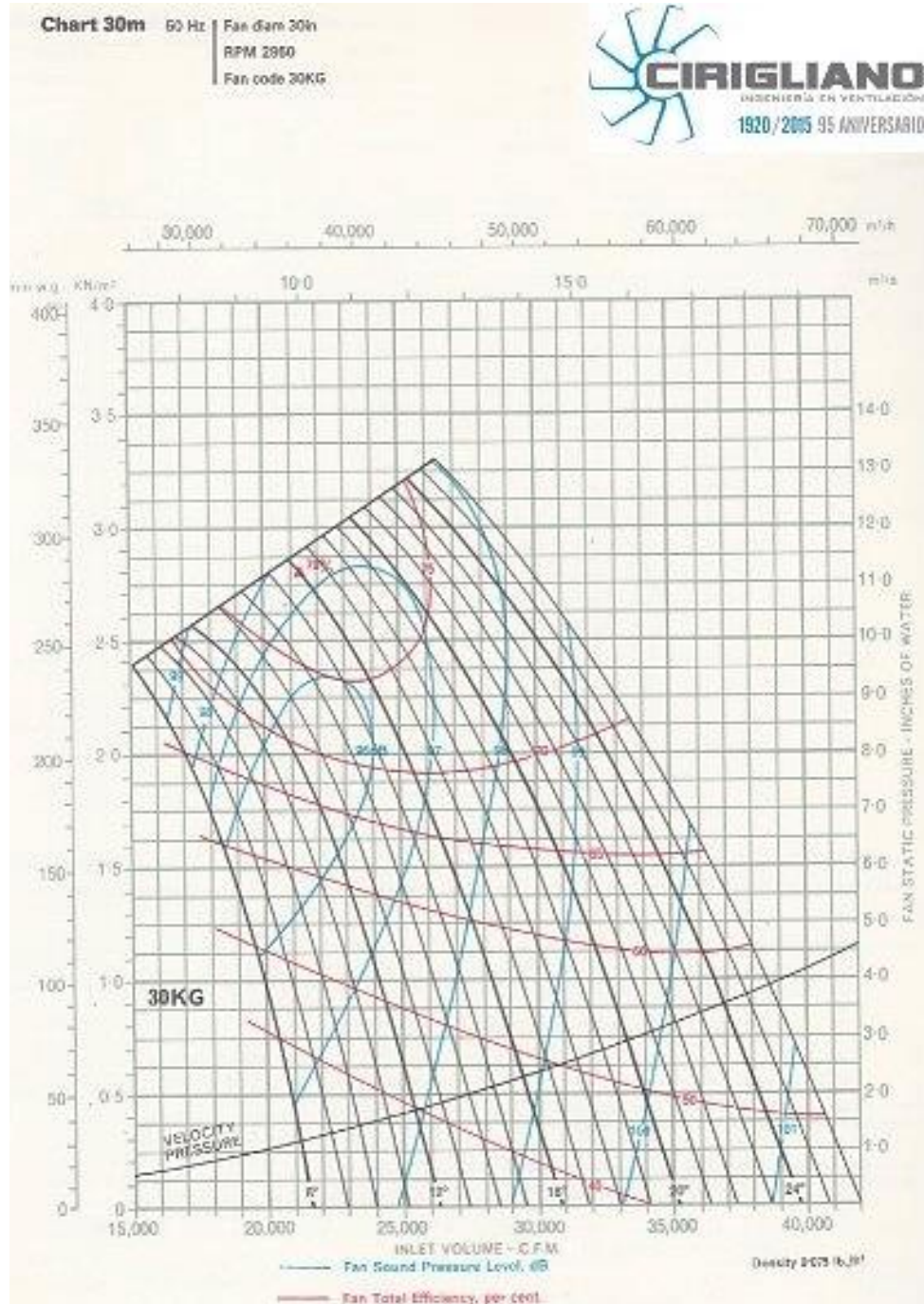
Hoja técnica Equipo AVH 71.22.2.8

		1xAVH71.	Ø 710 mm	50 Hz	n = 2980 rpm			
β	kW	Type	β	kW	Type			
			48°	1x22	AVH71.22.2.8/50Hz			
Automatic fan selection:								
Fan type	AVH71.22.2.8		No of stages	1	Set blade angle	48,0	m3/s	10
Energy cost	0,237	USD/hrs			Pa	1.471		
Running cost	4,503	USD						
Efficiency	86,36%	%						





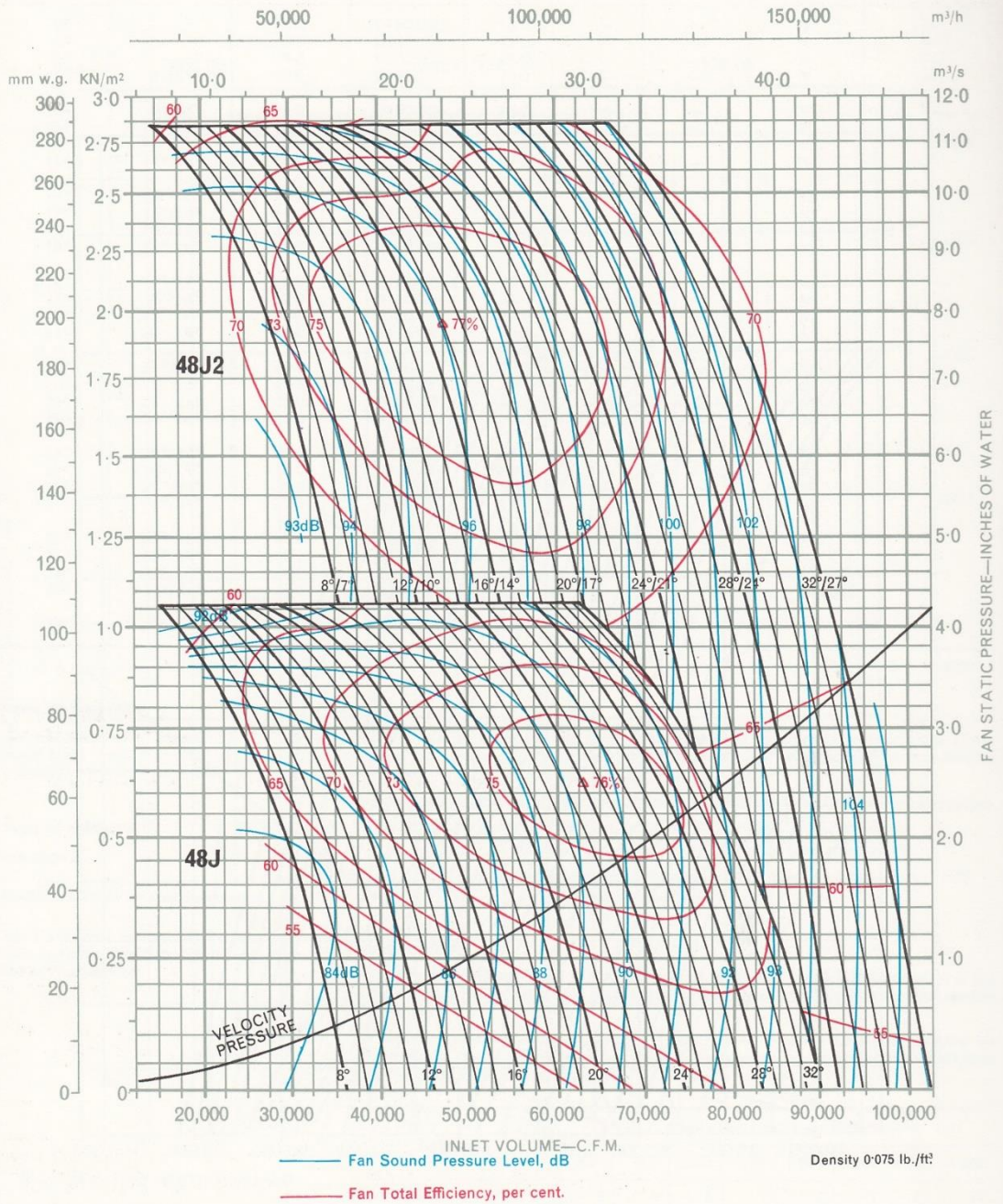
Curva Ventilador CIRIGLIANO 30KG





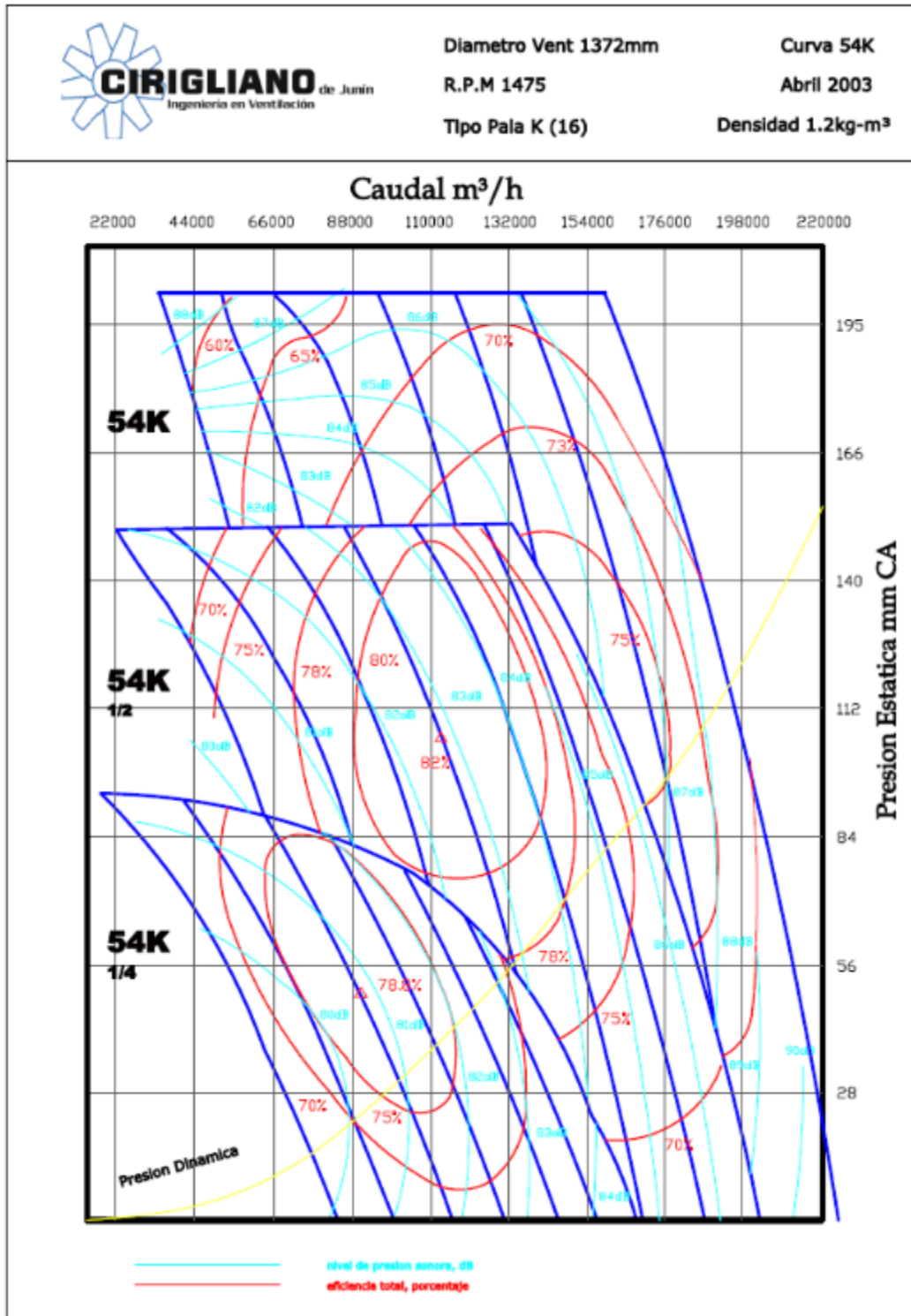
Curva Ventilador CIRIGLIANO 48J

Chart 48k 50 Hz | Fan diam 48in
RPM 1480
Fan codes 48J and 48J2





Curva Ventilador CIRIGLIANO 54K





ANEXO IV:

Software Ventsim



Descripción del Software

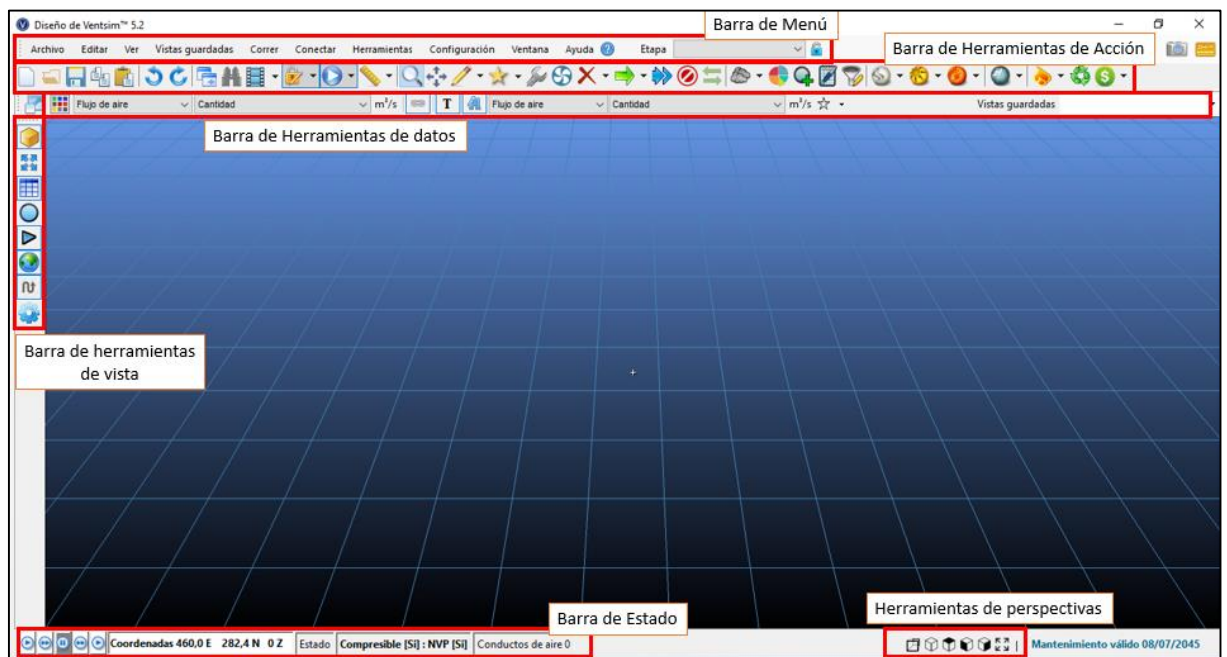
Ventsim™ es un paquete de software para sistemas de ventilación de minas subterráneas, diseñado para modelar y simular la ventilación, flujos de aire, presión, calor, gases, finanzas, radón, fuego y muchos otros tipos de datos de ventilación desde un modelo de túneles y pozos.

El objetivo principal de un estudio de ventilación de minas, es determinar la cantidad y calidad del aire que debe circular dentro de ella. Los factores que influyen en la determinación de este caudal, dependen de las condiciones propias de cada operación y del método de explotación utilizado.

El caudal necesario, para satisfacer las necesidades tanto del personal como de los equipos que en conjunto realizan los distintos trabajos en interior de la mina, se establecen de acuerdo a los requerimientos legales, normas de confort y eficiencia del trabajo. Este caudal debe garantizar la dilución de los gases generados tanto por los equipos y maquinarias de combustión interna (Diésel), como los gases provenientes de voladuras y los polvos asociados a las distintas operaciones.

Ventana de trabajo

La ventana principal de Ventsim ofrece todas las funciones necesarias para crear, editar, ver y simular modelos de conductos de ventilación.



- **Menú Principal:** Consiste de opciones para carga, guardar, visualizar y manipular el modelo, así como opciones para cambiar la configuración y simulación de los modelos de ventilación.



- **Barra de Herramientas de Acción:** Contiene muchas de las herramientas de construcción necesarias para crear modelos de ventilación. Además contiene una variedad de botones para los diferentes tipos de simulación de ventilación, como también, opciones para guardar o cargar un nuevo modelo, cambiar etapas y modificar las velocidades de animación por flechas.
- **Barra de Herramienta de Datos:** Permite cambiar el texto o los colores de los ductos de ventilación. Muestra o esconde el control de leyenda de color.
- **Barra de Herramientas de Vista:** Contiene opciones para mostrar o esconder varios elementos gráficos como flechas, textos, nodos y gráficos de referencia (DXF).

Funciones más utilizadas

Barra de trabajo:

Función	Descripción	Ícono
Ajustar todo	Ajusta los gráficos disponibles centralmente en la pantalla de trabajo. Si los gráficos están dispersos en un área grande, Ventsim puede elegir solo mostrar los conductos en el área más prominente.	
Sólido / Líneas	Cambia el modo de visualización del modelo entre líneas y sólidos. El modo líneas es algunas veces útil para editar en detalle los modelos, particularmente cuando los conductos son muy grandes o están muy juntos.	
Cuadrícula	Muestra o esconde la cuadrícula principal. Tenga en cuenta que en una sección (vertical) de visualización, la cuadrícula cambia automáticamente para mostrar las elevaciones.	
Nodos	Muestra o esconde los nodos (uniones) de los conductos. Esta opción puede también mostrar o esconder tipos individuales de íconos. Esto se puede lograr haciendo clic en la opción flecha desplegable a la derecha del botón.	
Flechas	Muestra o esconde las flechas que indican los flujos de aire.	
Referencias	Muestra o esconde gráficos de referencia (por ejemplo gráficos DXF o datos importados a Ventsim).	



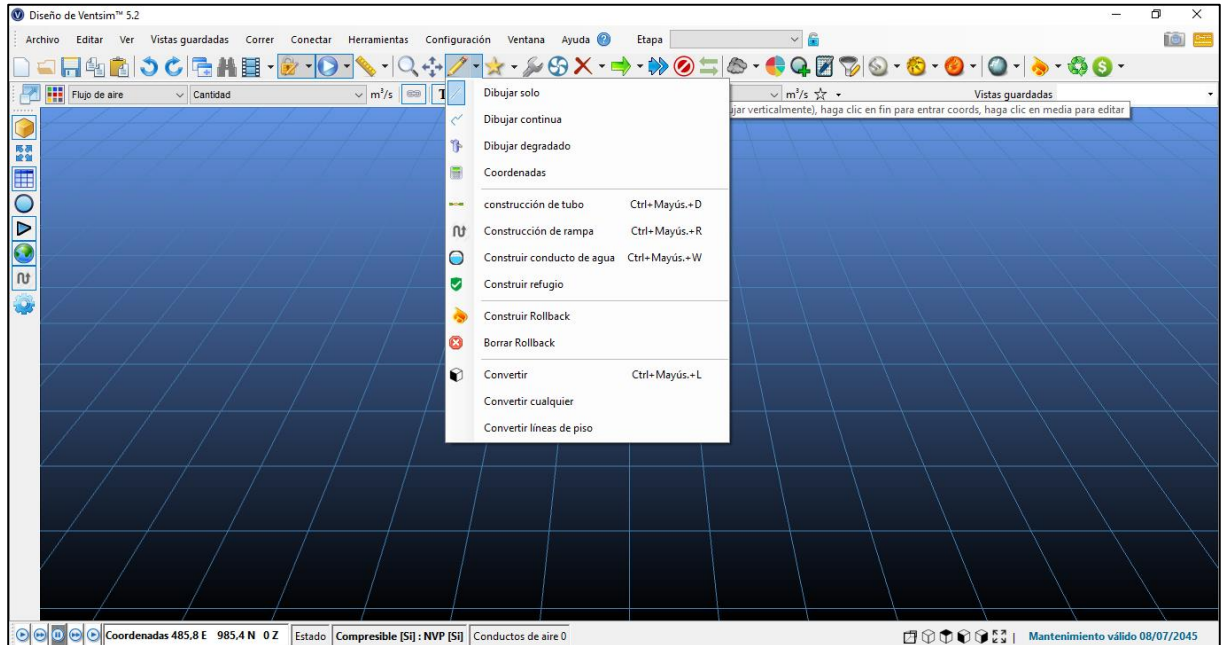
Funciones de edición:

Función	Descripción	Ícono
Agregar	Establece el modo de dibujo (agregar) de manera de poder crear nuevos conductos o mediciones entre conductos de ventilación. Esta función posee muchas sub-funciones disponibles. Estas se acceden al hacer clic en la pequeña flecha a la derecha del ícono.	
Editar	Edita el conducto de ventilación. Al hacer clic con el botón izquierdo del ratón sobre un conducto de ventilación se desplegará el cuadro de edición para dicho conducto.	
Seleccionar	Selecciona un grupo de conductos. Los conductos seleccionados se consideran como un grupo en el caso de ciertas funciones de Ventsim, las que incluyen Editar, Eliminar, Mover, Copiar y Filtrar. Estas opciones aplicarán los cambios a todos los conductos simultáneamente.	
Eliminar	Borra el conducto de ventilación. Al hacer clic izquierdo sobre un conducto, éste se borrará. Si se han seleccionado varios conductos, se borrarán todos.	
Bloquear	Bloquea o desbloquea un conducto con la resistencia más alta disponible (definida en el menú Ajustes). Esto restringirá casi todo el caudal en el conducto de ventilación.	
Mover	Mueve el/los conducto(s), el final de este o los íconos a una nueva ubicación. Esto hace arrastrando con el BOTÓN DERECHO DEL RATÓN. A menos que se mantenga presionada la tecla MAYUS (o SHIFT), el movimiento siempre se hará en la misma elevación horizontal.	
Copiar	Copia el conducto o conductos seleccionados o íconos en una ubicación diferente.	



Descripción de algunas herramientas utilizadas

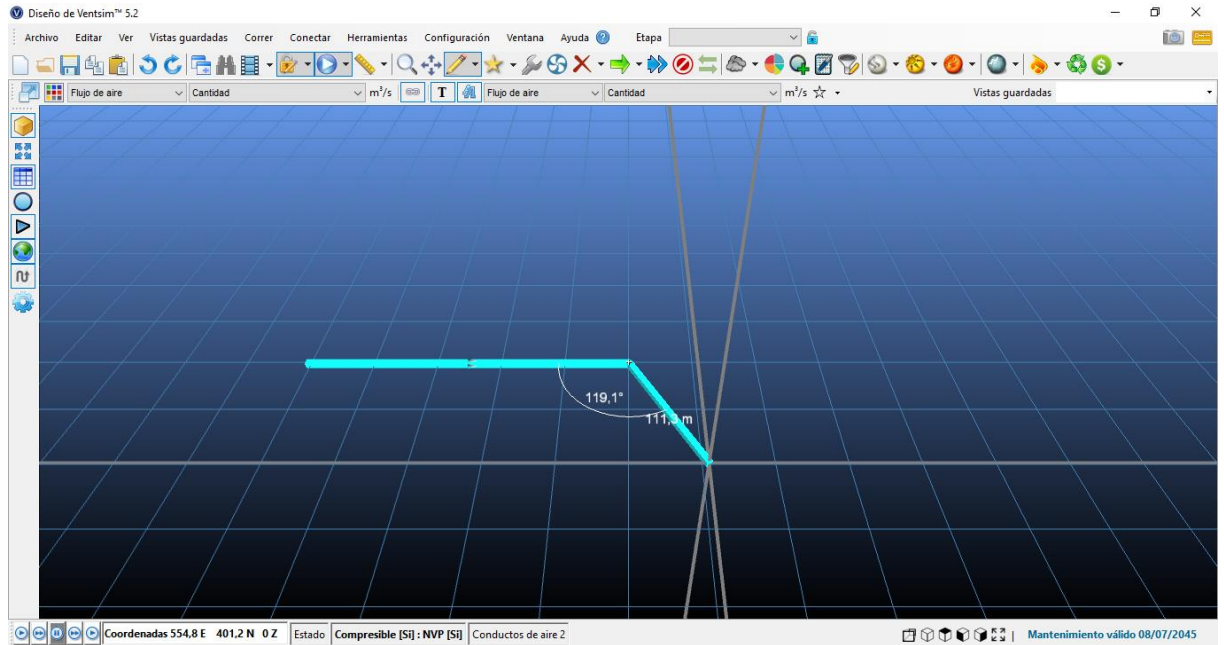
Es una de las funciones más utilizadas es la de AGREGAR, la cual nos permite dibujar las labores e ir diseñando la red de ventilación. Establece el modo de dibujo (agregar) de manera de poder crear nuevos conductos o mediciones entre conductos de ventilación. Esta función posee muchas sub-funciones disponibles. Estas se acceden al hacer clic en la pequeña flecha a la derecha del icono.



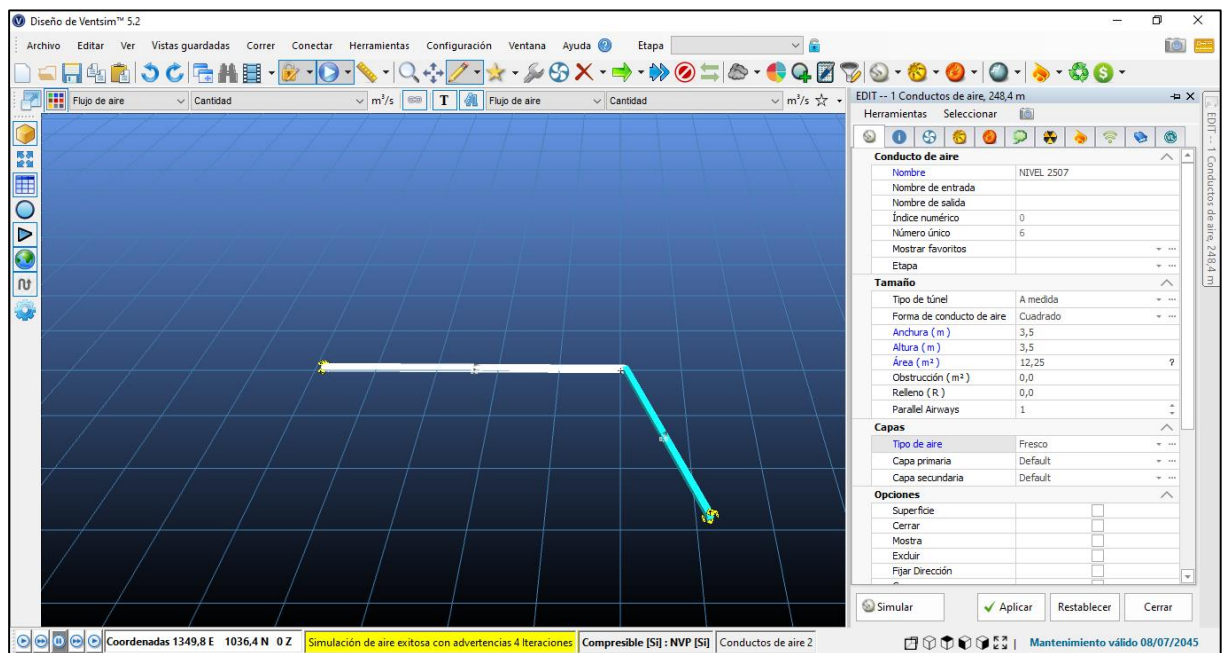
Cuando dibujamos un conducto, podemos ver en la pantalla una guía del largo de la labor como así también el ángulo. En este caso es una labor horizontal de cota cero de elevación, como indican las coordenadas en el extremo inferior izquierdo.



“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”



Seleccionando el conducto, podemos ir modificando, el nombre, la sección, si conecta o no a superficie, si tiene flujo fijo o variable, si es aire fresco o viciado, etc. Es este caso cargamos una sección de 3,5 x 3,8 m.





“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

Se puede personalizar el perfil de la labor, en este caso se utilizó el ARQUEADO, que se asimila a la forma real de las labores.

The screenshot shows the Ventsim DESIGN software interface. The main window displays the 'Valores Predeterminados de Ventsim DESIGN' dialog box. The 'Arqueado' profile is selected in the 'Perfil de cuerdas' column. A 'Creador de formas personalizadas' window is open, showing a custom profile with 9 points and a table of coordinates.

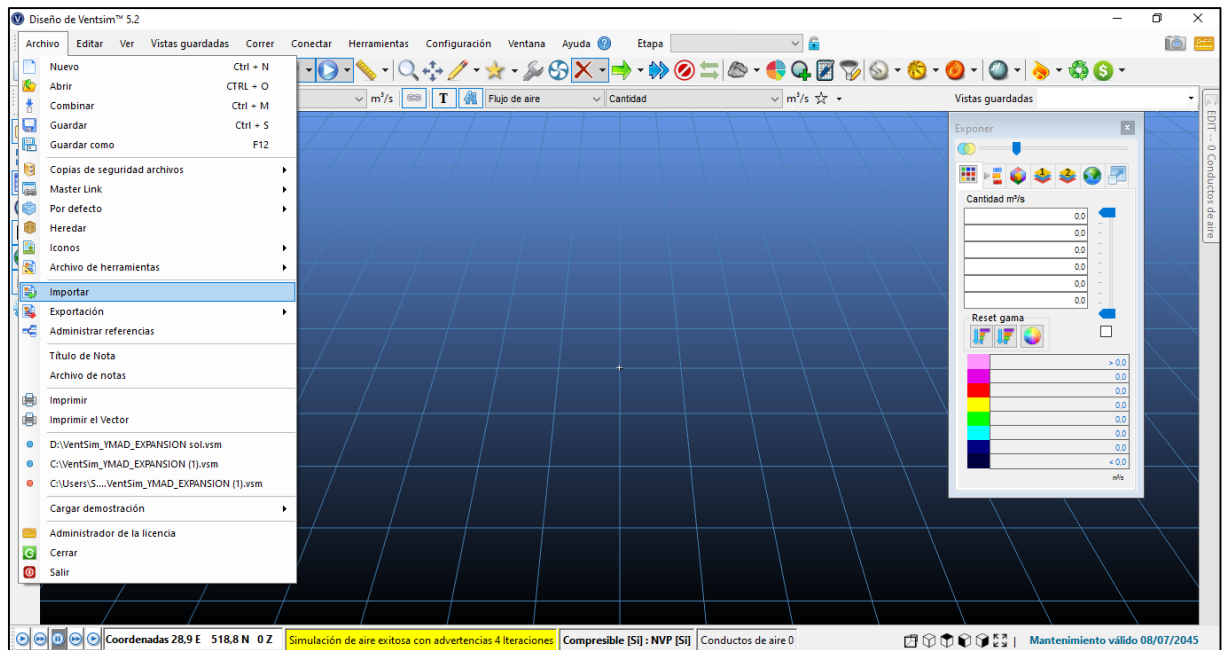
Punto	X	Y
1	-1,00	-1,00
2	1,00	-1,00
3	1,00	0,60
4	0,75	0,80
5	0,25	1,00
6	-0,25	1,00
7	-0,75	0,80
8	-1,00	0,60
9	-1,00	-1,00

Se puede afectar además por el tipo de roca, la densidad de la roca, la densidad térmica y el factor de fricción.

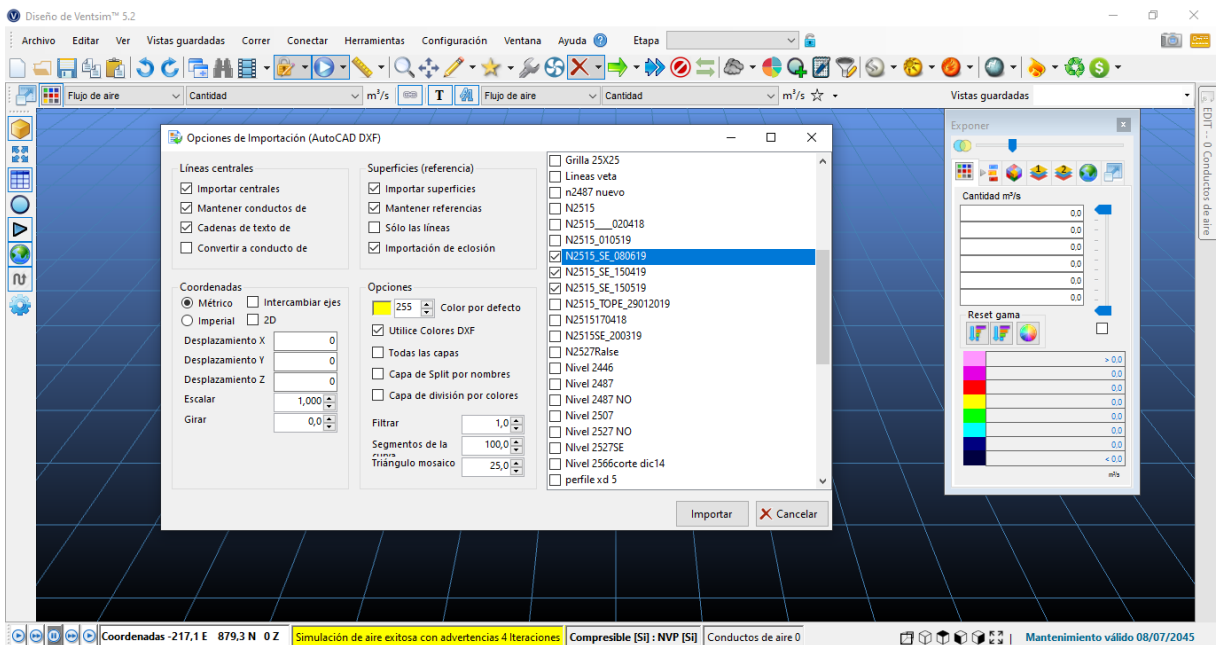


“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

Este software nos permite trabajar con archivos CAD, ya sea en 2 o 3 dimensiones. Para lo cual se utiliza la herramienta de importar, que nos abre un cuadro para buscar el archivo y cargarlo.



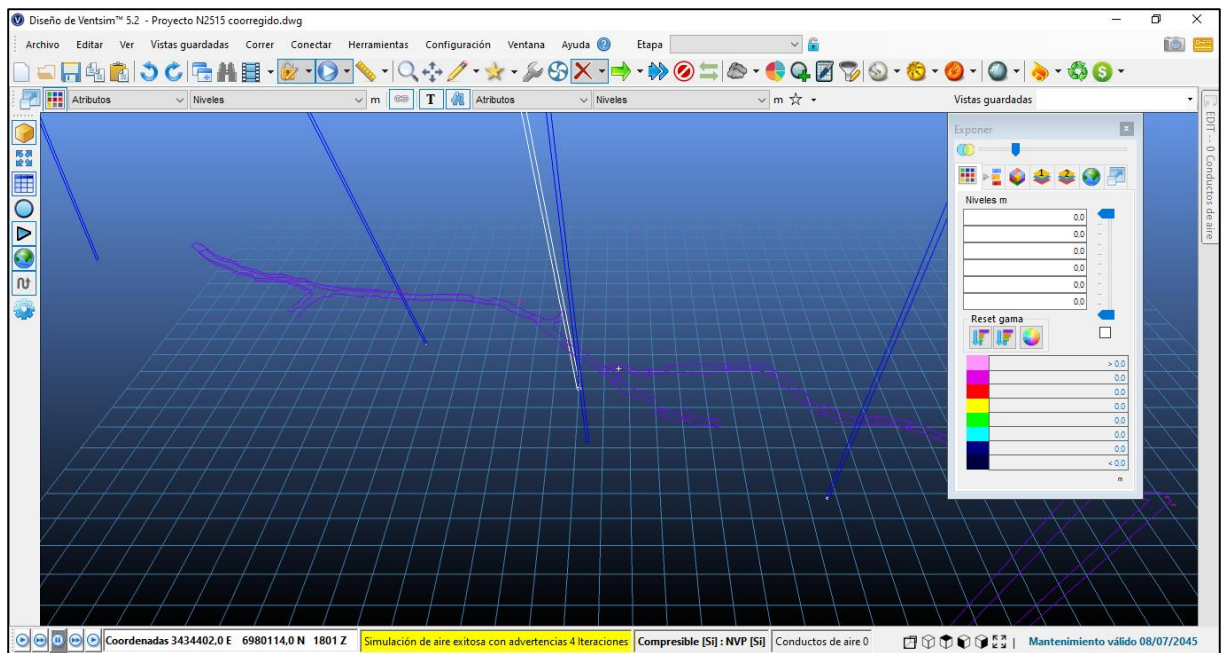
Seleccionamos lo que queremos importar, es este caso son archivos 2D.



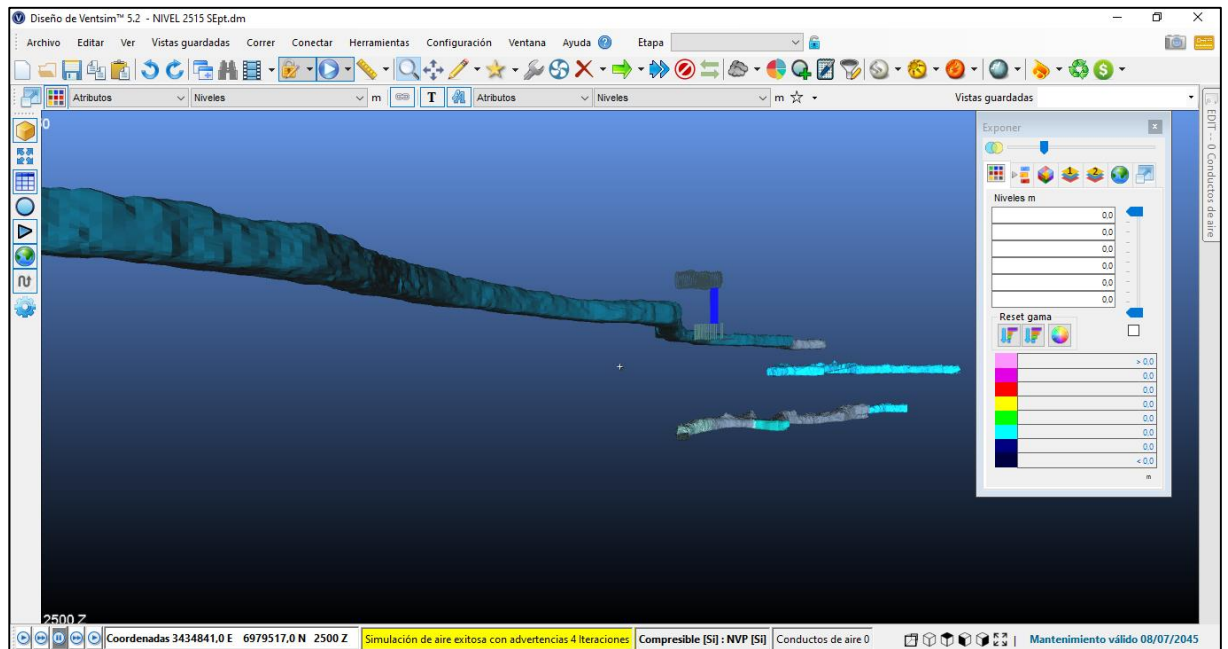


“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

Una vez importado el archivo, se puede ver de la siguiente forma. En este caso se seleccionó un nivel (N 2515 SE) y las chimeneas Raise Boring en sus inmediaciones.



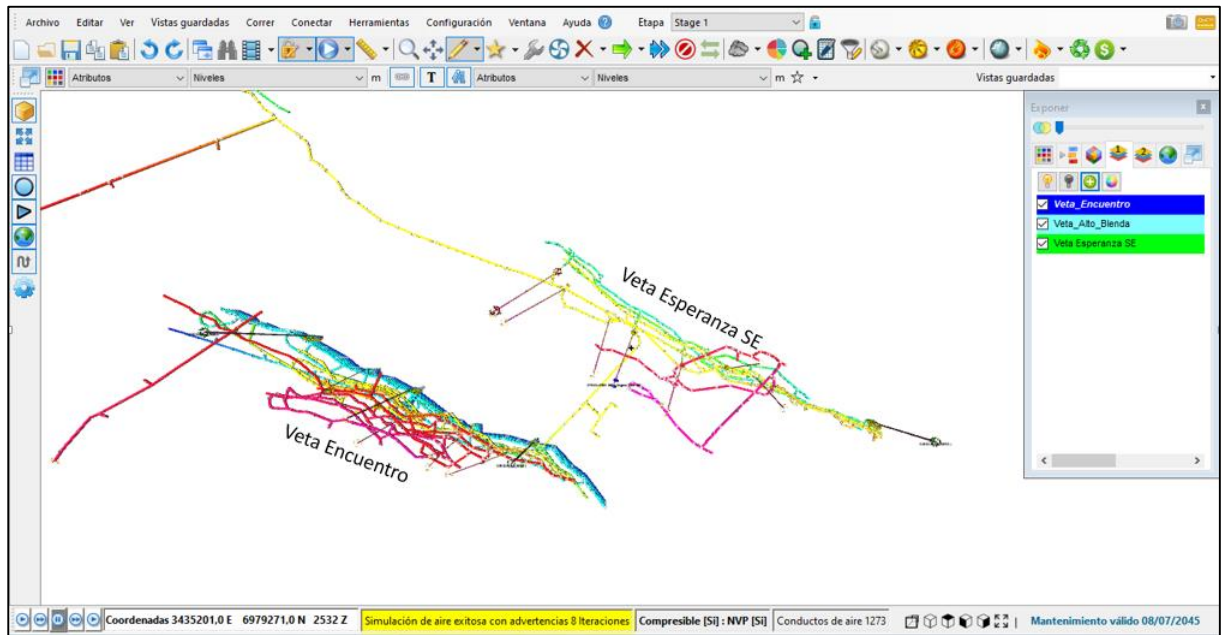
Esto nos servirá de guía para dibujar los conductos de ventilación del nivel en cuestión. Lo mismo sucede en el caso de importar sólidos sólidos.



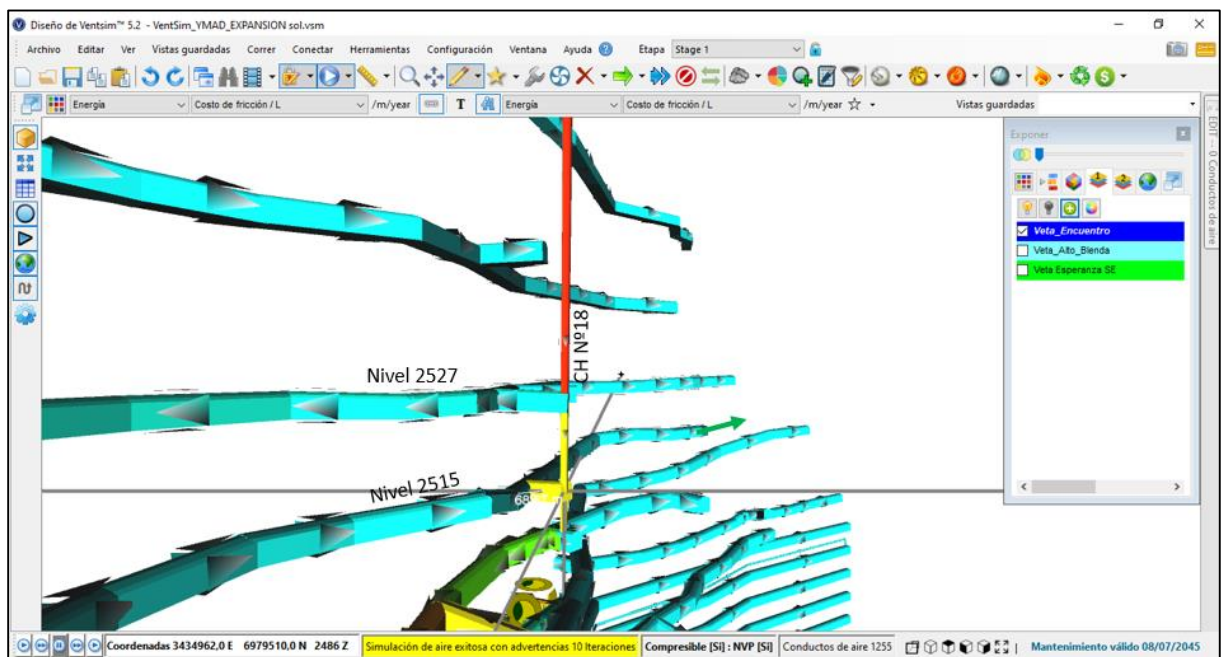


“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

De esta forma se diseñó el circuito de Veta Encuentro, Veta Esperanza SE y el proyecto de Veta Encuentro Inferior.



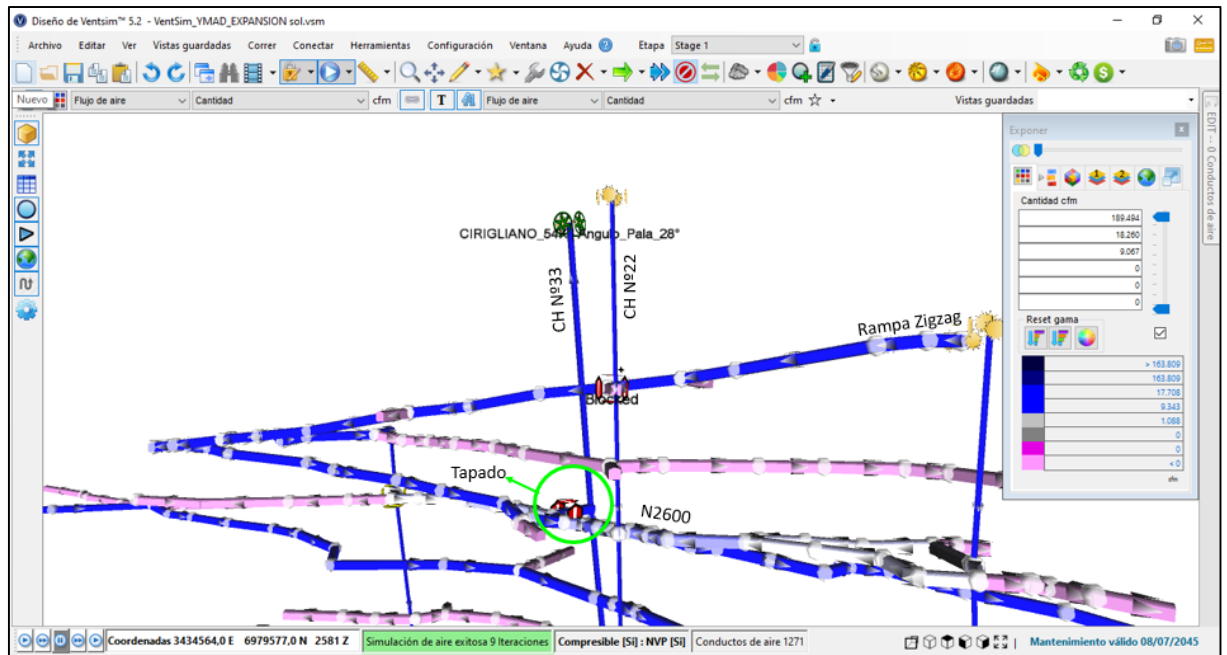
En la siguiente figura se puede ver la conexión realizada en el caso del N 2515 con la chimenea N° 18 para cambiar de posición el ventilador.



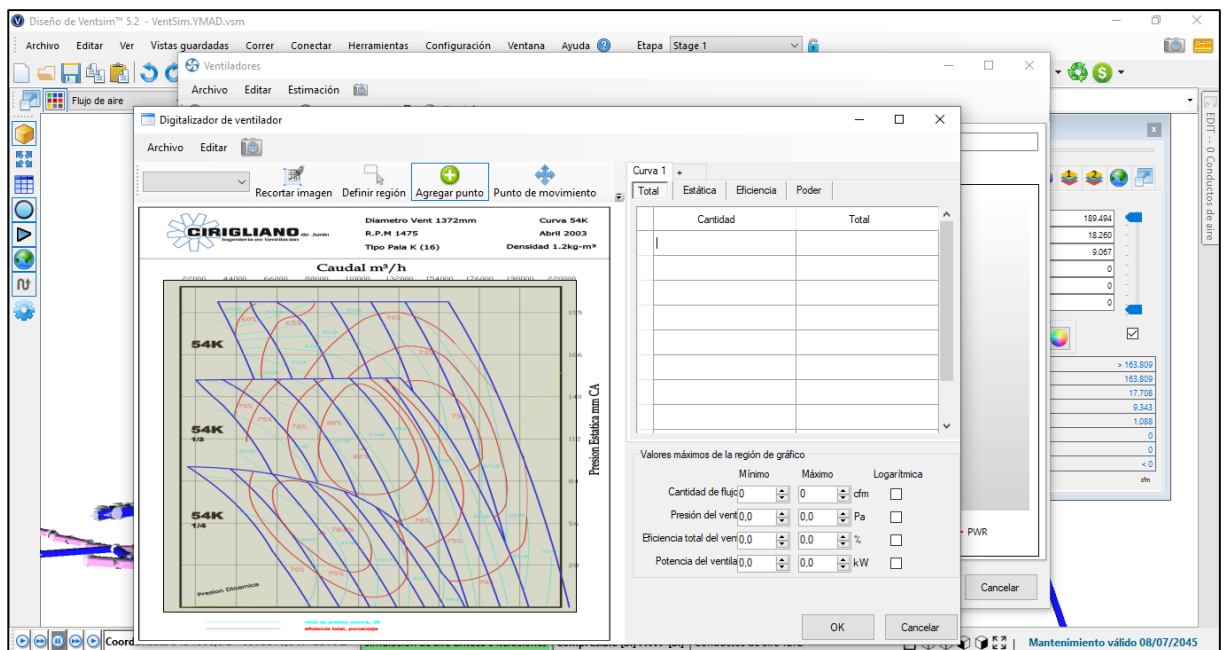


“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

Se utilizó en varios sectores la función de BLOQUEO, para ver la dirección de los flujos y la conveniencia de realizar los mismos.

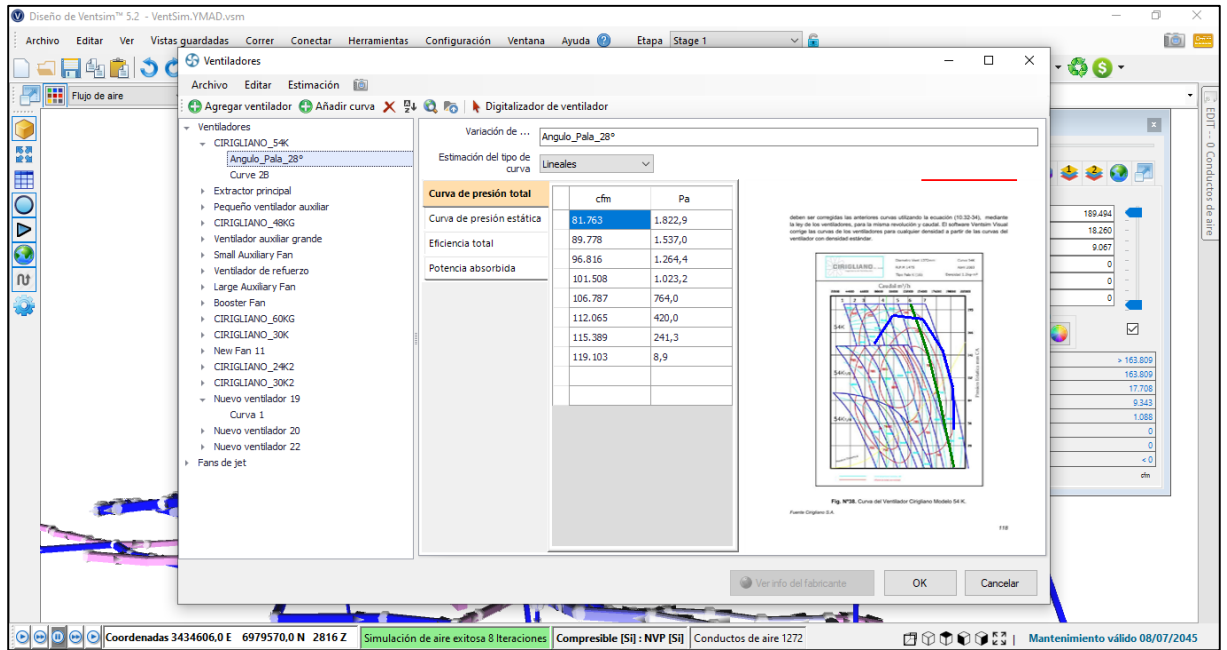


Otra función de mucha importancia es la simulación con ventiladores. Este software permite cargar los distintos tipos de ventiladores a utilizar en la simulación, digitalizando las curvas correspondientes a los mismos

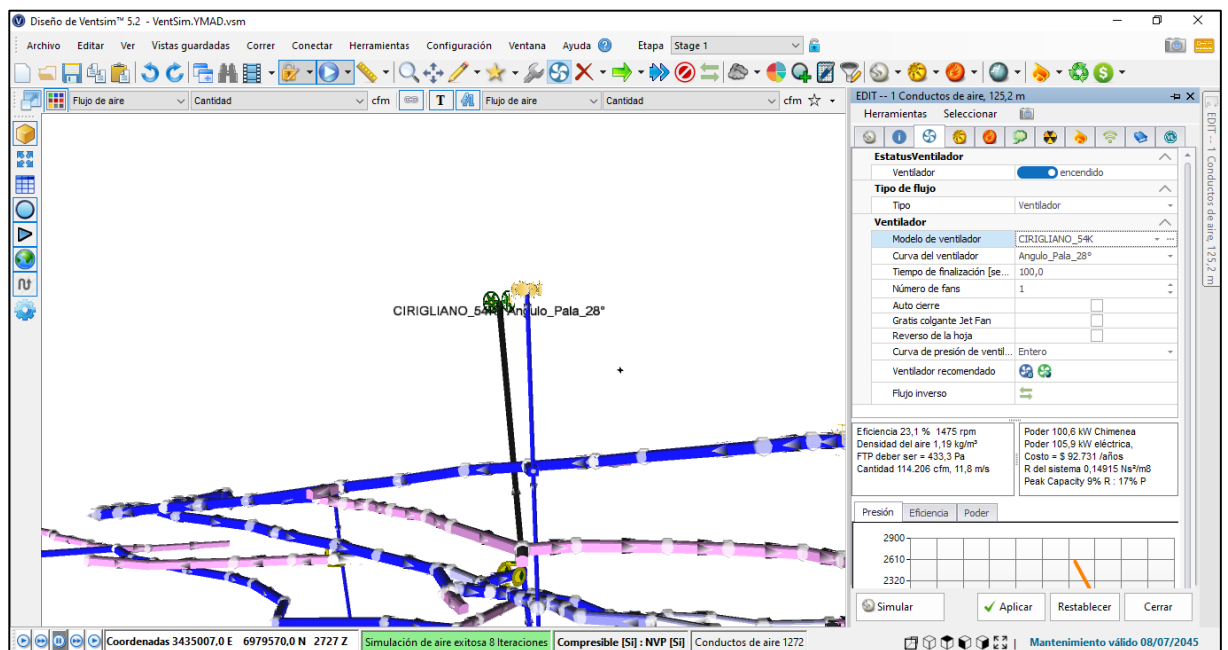




“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”



Agregamos el ventilador a nuestro circuito y direccionamos el flujo, ya sea aspirante o impelente. En este caso, se agregó un ventilador en superficie Cirigliano 54K, que es el que posee actualmente la mina.

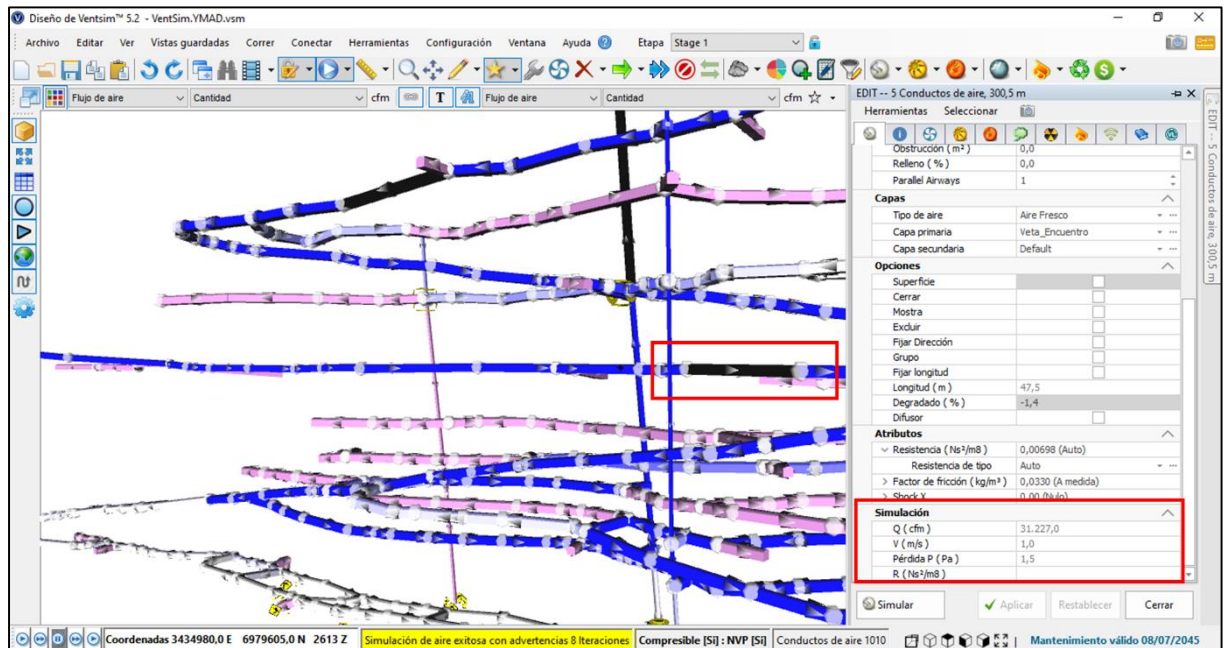


A su vez, nos permite evaluar el punto de operación del ventilador, para optimizar su rendimiento, y controlar la eficiencia del mismo.

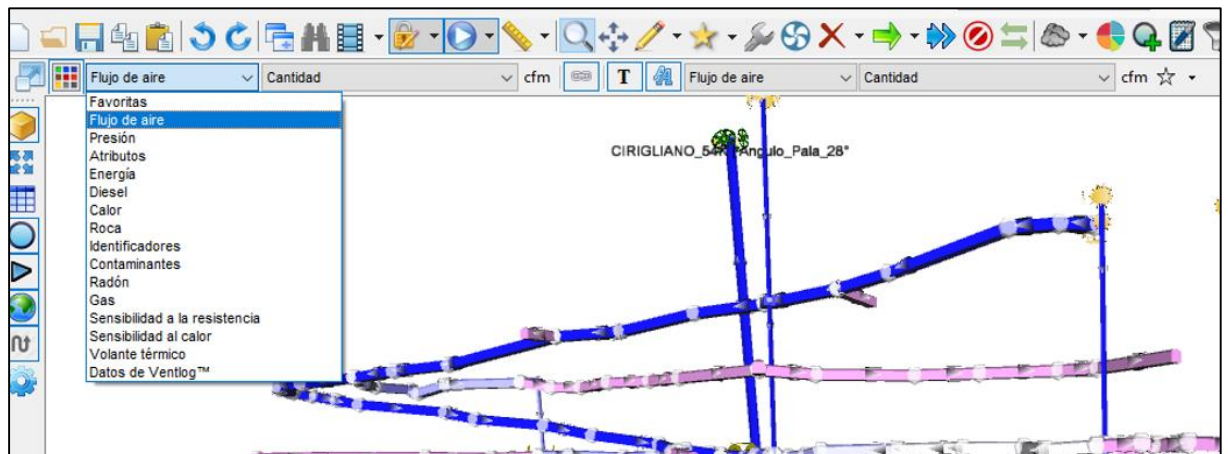


“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

Si se selecciona un tramo del conducto, entre nodo y nodo, podemos ver las características de esa selección, lo que nos permite el análisis de sectores puntuales.



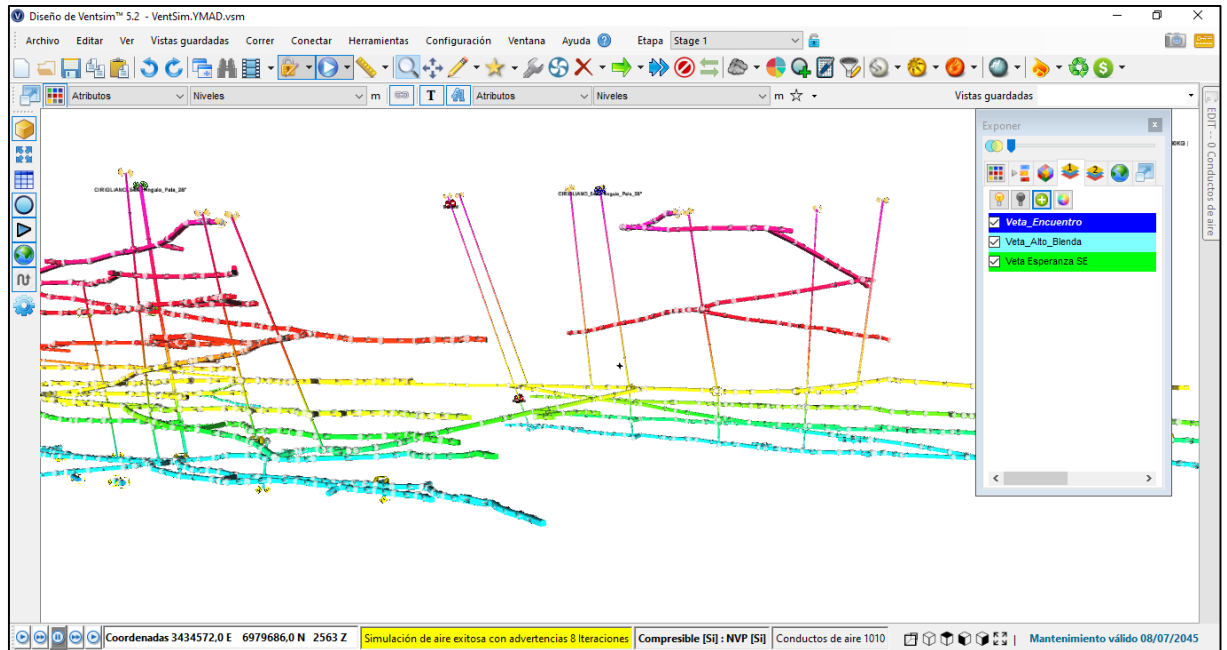
Cabe resaltar que no sólo permite visualizar los flujos de aire en cantidad, sino también la densidad del mismo y la velocidad. Además de que se pueden utilizar otros parámetros, como ser: Presión, Energía, Contaminantes, Sensibilidad al calor, Atributos, etc.



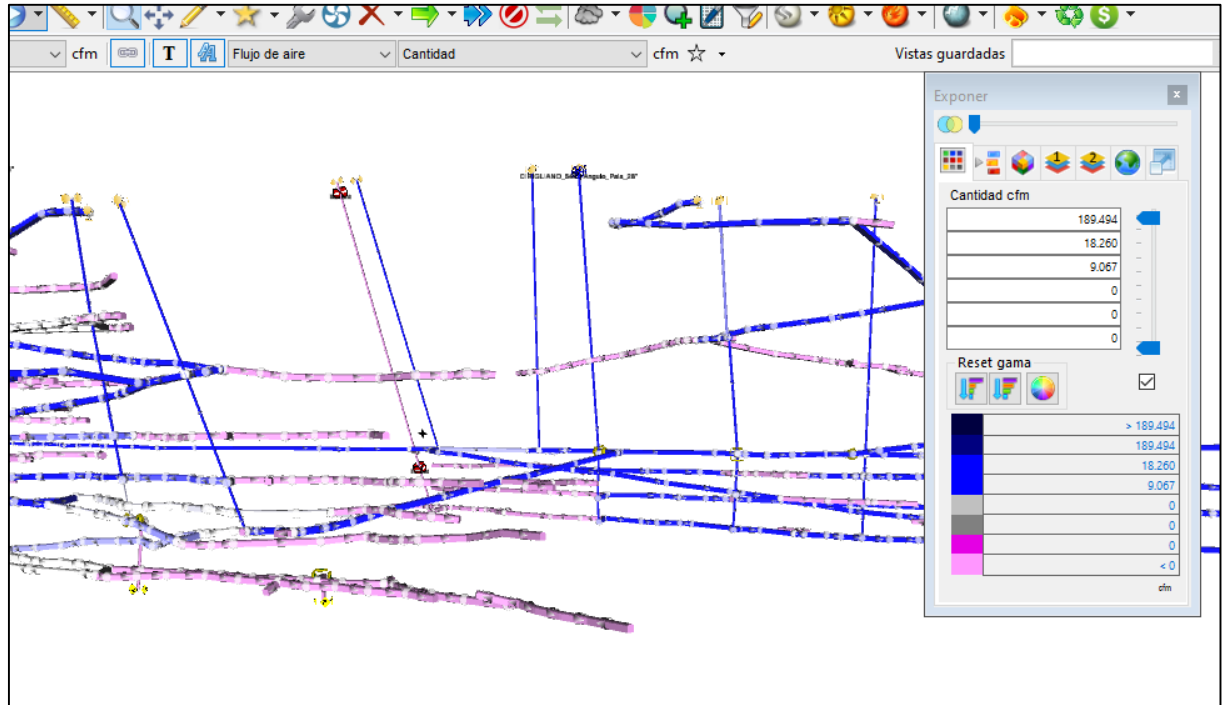


“Estudio y optimización del sistema de ventilación del complejo minero Farallón Negro”

Para mayor organización, permite modelar en capas y también en distintas etapas, que esto ayuda a separar ambas vetas, como así también los desarrollos actuales y los proyectados.

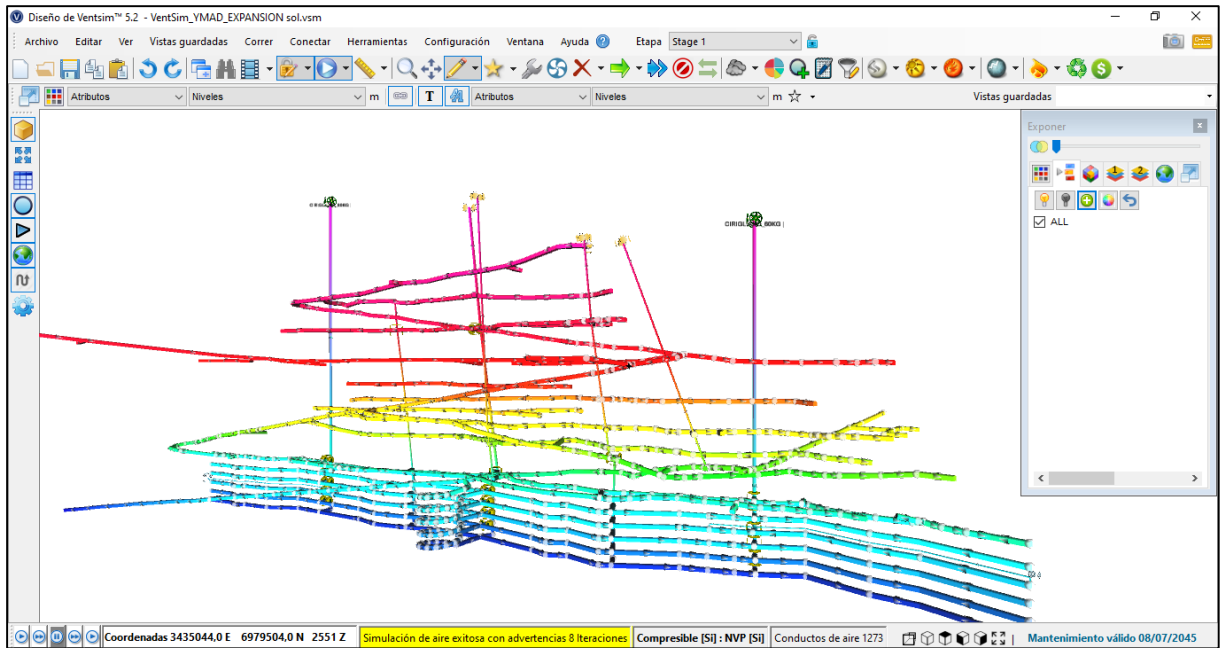


Por último se destaca que cuenta con una escala gráfica de cualquier parámetro que se desee visualizar.

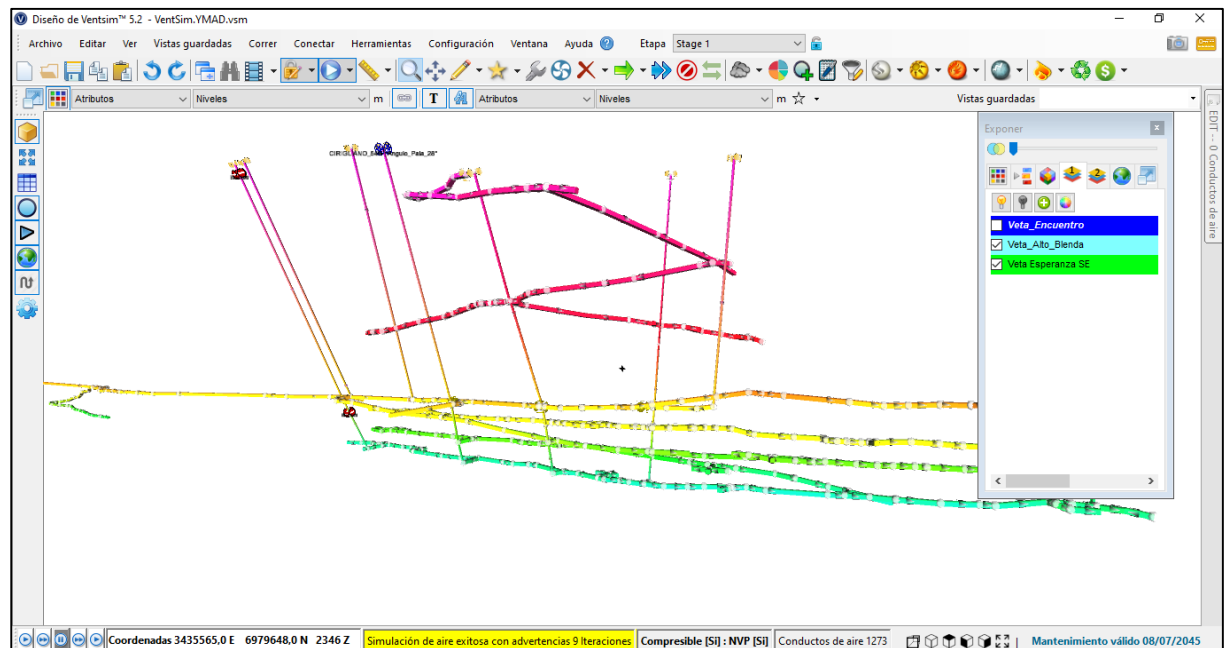




VETA ENCUENTRO Y VETA ENCUENTRO INFERIOR



VETA ESPERANZA SUDESTE





ANEXO V:

Fichas Técnicas de Explosivos



GELAMON VF 65%

DIRECCIÓN GENERAL DE FABRICACIONES MILITARES - FMVM

1. Clasificación

Alto explosivo con Nitroglicerina. Explosivo gelatinoso de alto poder rompedor, con valor fuerza 65%.
Número de Inscripción ANMaC (ex RENAR): ver detalle en ítem “5) PRESENTACIÓN”.
Clasificación ANMaC: Gelignita Amónica.

2. Denominación para el Transporte

Clase 1
División 1.1
Grupo Compatibilidad D
Nº ONU 0081
“Explosivo para voladuras tipo A”



3. Descripción

Pasta semisólida gelatinosa de color castaño a gris oscuro, de consistencia plástica blanda, no quebradiza, arenosa por la incorporación de sales y otros componentes sólidos, envasado en cartuchos de papel parafinado o film de polietileno, de acuerdo al diámetro.

4. Usos

Material utilizado para voladuras sobre rocas semiduras o duras. Apto para explotación en galerías, minería subterránea y a cielo abierto, canteras, obras viales, iniciación de agentes de voladura, demoliciones, carga de fondo y de columna en rocas graníticas, cuarcíticas, etc.

5. Características:

Detalle	Unidad	Requisito
Velocidad de detonación	m/seg	5300 (mín)
Densidad	gr/cm ³	1,40-1,60
Forma de iniciación	-	Detonador nº 8
Diámetro crítico	mm	22
Resistencia al agua	-	Muy Buena
Balace de oxígeno	%	-5,80
Volumen gases de explosión	l/kg	811
Calor de explosión	kcal/kg	1078
Presión de detonación	kbar	105
Potencia relativa en peso (**)	%	191
Potencia relativa en volumen (**)	%	369

(**) Potencias relativas referida al NAGO 280 con potencia convencional de 100.



SISTEMA DE GESTION INTEGRADO

FC-SM-GL-01
VIGENCIA 14/07/2017

FABRICACIONES MILITARES – Gerencia de Comercialización

Av. Cabildo 65 (1426) – Ciudad Autónoma de Buenos Aires – ARGENTINA

Tel/Fax: +54 011 47793433/3435

Contacto: comercializacion.sc@fm.gob.ar www.fm.gob.ar

Fábrica Militar de Pólvoras y Explosivos “Villa María” - DGFM

Av. Gral. Savio y Av. Borrás

CP 5900 – Villa María – Córdoba

Tel: 0353-4521848/49

Contacto: comercializacion.vm@ffmm.gov.ar - www.fm.gob.ar



GELAMON VF 65%

DIRECCIÓN GENERAL DE FABRICACIONES MILITARES - FMVM

6. Presentación



La presentación de los productos cumplimenta las normativas legales vigentes

El producto se envasa según formato, para diámetros mayores a 40 mm: en bolsas de polietileno de color rojo y dispuestos horizontalmente en el interior de la caja. Para diámetros menores o iguales a 40 mm: encartuchado en papel parafinado tipo kraft. Los cartuchos se colocan verticalmente dentro de la caja con bolsa interna de polietileno antiestático.

Diámetro (mm)	Largo (mm)	Peso promedio/ cartucho (kg)	Cartuchos por caja	Nº Registro ANMAC
22	200	0,1254	183-235	C1a2a-8408-01
25	200	0,1515	159-182	C1a2a-8408-12
32	200	0,2465	97-111	C1a2a-8408-02
38	200	0,3463	69-79	C1a2a-8408-03
40	200	0,3838	62-71	C1a2a-8408-04
50	500	1,5290	15-18	C1a2a-8408-05
60	130	0,5594	43-49	C1a2a-8408-06
60	500	2,1300	11-13	C1a2a-8408-07
70	500	2,8964	8-9	C1a2a-8408-08
80	500	3,7830	6-7	C1a2a-8408-09
90	500	4,7873	5-6	C1a2a-8408-10
100	500	5,9095	4-5	C1a2a-8408-11

7. Período de uso recomendado

12 (doce) meses bajo condiciones de almacenamiento recomendadas en el punto 8. “Manipulación y almacenamiento”.

8. Manipulación y almacenamiento:

Disponer siempre de la Ficha de Datos de Seguridad del Producto.

No exponer el explosivo a fuentes de calor o cambios bruscos de temperaturas, procurando un ambiente de almacenamiento fresco, seco y ventilado, con estibas no superiores a 6 (seis) cajas.

Condiciones de almacenamiento recomendables: temperatura entre -10 °C y 40°C, humedad relativa ambiente baja y presión atmosférica.

Realizar la carga y descarga de forma cuidadosa con luz diurna, evitando tormentas eléctricas, de arena o de nieve. La tarea deberá realizarse con la cantidad mínima necesaria de operarios.

El producto, debe ser tratado y usado con cuidado por personal capacitado en manejo de explosivos o bajo la supervisión de estos. Todas las personas que manipulan explosivos tienen la responsabilidad de conocer y poner en práctica todas las medidas de seguridad aprobadas y normalizadas.

El producto deberá ser almacenado en polvorines habilitados por el ANMaC (Ley Nº 20.429, Decreto Reglamentario Nº 302/83 y sus modificatorias).

En caso de duda acerca del uso de este producto, consulte a DGFM.

ADVERTENCIA: Fabricaciones Militares se reserva el derecho de introducir en sus productos todas aquellas modificaciones que estime convenientes. Bajo ninguna circunstancia será responsable (como vendedor) de daños, pérdida de ganancia, daños posteriores o contingentes por el uso de este producto.



SISTEMA DE GESTION INTEGRADO
FC-SM-GL-01
VIGENCIA 14/07/2017

FABRICACIONES MILITARES – Gerencia de Comercialización
Av. Cabildo 65 (1426) – Ciudad Autónoma de Buenos Aires – ARGENTINA
Tel/Fax: +54 011 47799433/3435
Contacto: comercializacion.sc@fm.gob.ar www.fm.gob.ar

Fábrica Militar de Pólvoras y Explosivos “Villa María” - DGFM
Av. Gral. Savio y Av. Borrás
CP 5900 – Villa María – Córdoba
Tel: 0353-4521848/49
Contacto: comercializacion.vm@ffmm.gov.ar - www.fm.gob.ar



ANFO

FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO

Anfo Agente de voladura a base de nitrato de amonio tipo prill mezclado con un agente combustible (gasoil).

VENTAJAS DEL PRODUCTO

- Excelentes características de acoplamiento en el barreno, siempre y cuando se aplique el diámetro de producto apropiado según las dimensiones del barreno.
- Buen desarrollo de volumen de gases que mejora el desplazamiento de la roca fragmentada.
- Presenta una baja sensibilidad.
- Baja densidad del producto.
- Facilidad de uso.
- Muy poca cantidad de humos tóxicos.

PROPIEDADES

Propiedades	Valor
Densidad nominal [g/cm ³] Ø 1 > 2" ⁽¹⁾	0.80
Velocidad de Detonación, VOD [m/s] ⁽²⁾	3000

Notas:

- ⁽¹⁾ La densidad del producto es una propiedad que depende de la temperatura.
- ⁽²⁾ Los resultados de VOD dependen de la aplicación, el diámetro y confinación.
- ⁽²⁾ Cofinado en tubo de 50 mm.

EMBALAJE ESTÁNDAR

- El ANFO es entregado en sacos de polipropileno con una bolsa interna de polietileno de características impermeables y apropiadas para resguardar el producto de la humedad. Presentación en peso de 25 kg.

ALMACENAMIENTO

- Su almacenamiento deberá ir acorde a las leyes locales, provinciales, estatales y federales.
- Almacenar en un ambiente seco, fresco, limpio y bien ventilado.
- No exponer el producto a la luz directa del sol ni a fuentes de calor.
- Almacenar en un ambiente libre de humedad.
- Límite inferior de temperatura +16 °C.
- Límite superior de temperatura +32 °C.



AUSTIN POWDER

Industriales Austin de Costa Rica, Esparza, Puntarenas, Km 101 Interamericana Norte
Tel: (+506) 4001 9428

06/2017



ANFO

FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO

USO

- En minería a cielo abierto.
- Minería subterránea con buena ventilación.
- Canteras.
- Obras civiles
- Su empleo está limitado a perforaciones que no contengan agua.
- Requiere de un alto explosivo como detonador mínimo para su iniciación (por ejemplo: emulsión encartuchada sensible al detonador, booster de pentolita, entre otros) de tamaño adecuado para su correcta iniciación. Los agentes de voladura no son sensibles a la iniciación con detonadores.
- Austin no acepta ninguna responsabilidad por cualquier pérdida o responsabilidad derivada del uso del producto en tierra que contenga material pirítico u otro material reactivo.

VIDA ÚTIL

3 meses a partir de la fecha de manufactura bajo las condiciones de almacenamiento adecuado.

DISPOSICIÓN FINAL

De acuerdo con los requisitos legales, locales y nacionales. En caso de duda, póngase en contacto con su proveedor o el fabricante.

DATOS DE TRANSPORTE

Nombre de Envío: Agente de Voladura, TIPO B

Clase y División UN: 1.5D

Número UN: 0331

Descargo de Responsabilidad: Los datos técnicos establecidos en esta Ficha Técnica del Producto han sido determinados de acuerdo con los procedimientos de laboratorio y pruebas de productos de Industriales Austin de Costa Rica S.A. vigentes a la publicación de esta Ficha Técnica del Producto. La información y datos aquí estipulados son únicamente para referencia general del usuario; las especificaciones, valores de pruebas e información son datos preliminares no vinculantes y no garantizados debido a que los valores reales pueden depender de variables como la temperatura, la humedad, la presión, el almacenamiento y la manipulación del producto, entre otros. Debido a que Industriales Austin de Costa Rica S.A. no puede anticipar e influir en las condiciones en las que se utiliza el producto y la información de esta Ficha Técnica del Producto, no tomamos ninguna responsabilidad legal por la idoneidad del uso del producto en cualquier aplicación particular. El usuario es responsable de verificar la idoneidad del producto para su uso en cualquier aplicación. Industriales Austin de Costa Rica S.A. no será responsable de los daños de ningún tipo que surjan como resultado por el uso o dependencia de la información publicada. El cliente es el único responsable del uso adecuado de los productos potencialmente peligrosos que, en consecuencia, sólo podrán ser utilizados por personal capacitado y de acuerdo con la ley aplicable. Quedan reservados los derechos de Industriales Austin de Costa Rica S.A. a la modificación de los productos y/o de la información sin previo aviso. Los términos y condiciones generales del contrato de Industriales Austin de Costa Rica S.A. aplicarán a todas nuestras ventas.



AUSTIN POWDER

Industriales Austin de Costa Rica, Esparza, Puntarenas, Km 101 Interamericana Norte
Tel: (+506) 4001 9428

06/2017



APACORD

(CORDON DETONANTE)
FICHA DE INFORMACION TECNICA

El Cordón Detonante posee un núcleo de pentrita (PETN) protegido por una serie de capas a base de cintas y fibras de polipropileno finalmente recubierto mediante una capa extruida de PVC (cloruro de polivinilo). Dentro de sus propiedades está el ser flexible, su resistencia al agua y su grado de resistencia a la tensión, lo que le permite un manejo confiable, gracias a la calidad de las materias primas que lo componen. Se fabrican diversos tipos, de acuerdo a la carga de pentrita en su núcleo.

BENEFICIOS

- Resistente al agua
- Resistente a la abrasión
- Alta resistencia a la tensión
- Moderna tecnología de producción
- Colores fácilmente visibles para su fácil identificación.

PROPIEDADES

Producto	3	5	10	15	40	60
Núcleo de Pentrita (g/m)	3,7	5	10	15	40	60
Resistencia a la tensión (kgf)	Mínimo 70					
Velocidad nominal de detonación (m/s)	6500					
Diámetro Exterior (Promedio en mm)	3,7	4,1	4,8	5,3	8,0	9,5
Material Recubrimiento	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
Color Recubrimiento	Rosa	Rojo	Amarillo	Verde	Naranja	Celeste



AUSTIN POWDER

Austin Powder Argentina S.A. Lola Mora 421 Piso 5 Of 503, C1107DDA CABA, Argentina
Teléfono +54 11 5245-8588 - comercial@austin.com.ar | www.austin.com.ar



APACORD

(CORDON DETONANTE)
FICHA DE INFORMACION TECNICA

PAQUETE ESTANDAR

Descripción del Producto	Rollos / caja	Metros / caja	Peso Bruto kg
Cordón Detonante APACORD 3 gr	2	2.000	22,6
Cordón Detonante APACORD 5 gr	2	1.400	24
Cordón Detonante APACORD 10 gr	2	800	20
Cordón Detonante APACORD 15 gr	2	800	22
Cordón Detonante APACORD 40 gr	2	300	20
Cordón Detonante APACORD 60 gr	2	200	18

ALMACENAMIENTO

Los cordones detonantes deben ser almacenados exclusivamente en polvorines para Altos Explosivos (Emulsiones encartuchadas y/o Booster etc.) o agentes de voladura (Ej: ANFO). Estos polvorines deben reunir las condiciones exigidas por la legislación vigente.

USO

- Minería a cielo abierto
- Minería subterránea
- Canteras
- Obras Civiles y Demoliciones

INICIACION

El cordón detonante es sensible a la iniciación con detonador No. 8. La iniciación también puede realizarse con otro cordón detonante.

VIDA UTIL

Se recomienda su uso en un plazo de 60 meses

DISPOSICION FINAL

De acuerdo a las regulaciones locales. Ante cualquier duda, consulte al proveedor.

INFORMACION DE TRANSPORTE

Nombre Explosivo: Alto Explosivo
Clase y División: 1.1D
Número ONU: 0065

Contacte a su representante local de Austin Powder para más información.

Exclusión de responsabilidad:

© 2019 Austin Powder Argentina S.A. Todos los derechos reservados. Toda la información contenida en este documento se provee solamente para fines informativos y está sujeta a cambio sin previo aviso. Austin Powder Argentina no puede anticipar ni tiene control sobre las condiciones bajo las cuales esta información y sus productos se puedan usar, por lo que cada usuario deberá revisar la información en el contexto de su aplicación específica. Austin Powder Argentina no asume ninguna responsabilidad legal expresa o implícita, incluyendo precisión, no infracción y garantías implícitas de comercialización o aptitud para su aplicación específica. Austin Powder Argentina específicamente no será responsable por ninguna lesión (incluyendo muerte), pérdidas, o daños a personas o propiedades que surjan por el uso o aplicación de la información en este documento.



AUSTIN POWDER

Austin Powder Argentina S.A. Lola Mora 421 Piso 5 Of 503, C1107DDA CABA, Argentina
Teléfono +54 11 5245-8588 - comercial@austin.com.ar | www.austin.com.ar

FIT-C-APA-APACORD / 04

AGO/18



MECHA DE SEGURIDAD AB

DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN:



La MECHA DE SEGURIDAD AB es un accesorio de voladura y un componente del sistema tradicional de iniciación. Se caracteriza por ser flexible y posee un núcleo central de pólvora, el cual transmite el fuego hasta el fulminante, a una velocidad uniforme; está cubierta por varias capas de diferentes materiales que garantizan la continuidad de la combustión y compactación. Estos componentes se encuentran protegidos por un recubrimiento de material plástico. Todo el conjunto asegura que la Mecha de Seguridad tenga una excelente impermeabilidad, resistencia a la humedad, a la abrasión y a los esfuerzos mecánicos, aún en las condiciones más exigentes; así como evitar que el fuego se transmita de uno a otro tramo de Mecha de Seguridad cuando están cerca, minimizando la producción de chispas laterales.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

	MECHA DE SEGURIDAD AB
COLOR DE RECUBRIMIENTO PLÁSTICO	Blanco
NÚCLEO DE LA PÓLVORA (g/m)	5,4 ± 0,7
TIEMPO DE COMBUSTIÓN a.n.m. (s/m)	135 ± 5
DIÁMETRO EXTERNO (mm)	5,2 ± 0,2
IMPERMEABILIDAD	Muy Buena

a.n.m.= a nivel del mar

PRESENTACIÓN:

	MATERIAL DE CAJA	CAPACIDAD DE CAJA	PESO NETO (Kg)	PESO BRUTO (kg)	DIMENSIONES EXTERIORES (cm)
MECHA DE SEGURIDAD AB	Cartón	2 Rollos x 500 m	24,50	25,40	37,1 x 37,1 x 31,0

TRANSPORTE:

Clase : 1
División : 1.4S
Nº ONU : 0105



MANIPULEO Y ALMACENAMIENTO

Los explosivos y accesorios de voladura de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. son productos seguros, pero en manos inexpertas se constituyen en elementos peligrosos. El adquirente o usuario debe cumplir con lo establecido por las normas correspondientes, al momento de su transporte, almacenaje y uso, así como entrenar debidamente a todo el personal encargado de su manipuleo. FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., no asume responsabilidad alguna por el transporte, almacenaje y/o uso inadecuado que pudiera darse a sus productos. El transporte, almacenamiento, manipuleo y uso debe hacerse en concordancia con las regulaciones y aprobaciones por la autoridad competente. Debe ser almacenado en polvorines ubicados en zonas seguras, protegidos de la lluvia y el calor; y en concordancia con la tabla de compatibilidad vigente de la autoridad competente.

ATENCIÓN

La información y recomendación aquí descrita no cubren necesariamente todas las aplicaciones del producto ni las distintas condiciones bajo las cuales éste sea utilizado. Estas se basan en la experiencia, investigación y pruebas realizadas por Famesa Explosivos S.A.C., quien no garantiza resultados favorables ni asume responsabilidad alguna, expresa o implícita en conexión con el uso de estas sugerencias. Este producto puede ser modificado sin previo aviso.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C

OF. ADMINISTRATIVA Y PLANTA DE PRODUCCIÓN
Km. 28 Autopista Ancón - Pte. Piedra
Lima - Perú
Telf. (51-1) 613-9800 | Fax (51-1) 613-9806
famesa@famesa.com.pe

OF. COMERCIALIZACIÓN
REGIÓN CENTRO
Km. 28 Autopista Ancón - Pte. Piedra
Lima - Perú
Telf. (51-1) 613-9855 / 613-9865
famvias@famesa.com.pe

REGIÓN NORTE
Calle Colombia 173. Urb. El Recreo
Trujillo - La Libertad - Perú
Telf. (044) 242676
famesat@famesa.com.pe

REGIÓN SUR
Av. Bolognesi 118 - A Quinta - Sta. Luisa
Yanahuara - Arequipa - Perú
Telf. (054) 273527 / 273303 | Fax (054) 259789
famesasq@famesa.com.pe

www.famesa.com.pe



SISTEMAS DE INICIACIÓN

FULMINANTE COMÚN FULMESA®

DETONADOR DE MECHA O FULMINANTE COMÚN

Descripción y composición

El FULMINANTE COMÚN está constituido por una cápsula cilíndrica de aluminio cerrada en uno de sus extremos, en cuyo interior lleva un explosivo primario muy sensible a la chispa de la mecha de seguridad y otro secundario de alto poder explosivo.

Dada la calidad de los insumos utilizados en la fabricación del producto, estos le proporcionan máxima seguridad y eficiencia en el uso.

Tipos y usos

Para satisfacer los requerimientos del mercado, FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. cuenta con los siguientes tipos de fulminante:

- Fulminante Común N° 6
- Fulminante Común N° 8

EL FULMINANTE COMÚN está diseñado para ser iniciado por la chispa de una Mecha de Seguridad y es usado como iniciador primario, así tenemos:

- Fulminante Común N° 6.- Se utiliza para iniciar la Dinamita FAMESA.
- Fulminante Común N° 8.- Se utiliza para iniciar al Emulnor (emulsión encartuchada) y Dinamita FAMESA.

Características técnicas

	Fulminante común N° 6	Fulminante común N° 8
Longitud del fulminante (mm)	45	45
Diámetro del fulminante (mm)	6,3	6,3
Prueba de esopo, diámetro de perforación (mm)	Min. 9,0	Min. 9,0
Volumen trauzl (cm ³)	Min. 20	Min. 23
Resistencia a la humedad relativa del 100% por 24 horas.	Detona	Detona
Resistencia al impacto 2 kg/1m	No Detona	No Detona
Sensibilidad a la chispa de la mecha de seguridad.	Buena	Buena

Presentación

En cajas de cartón corrugado, conteniendo cajitas de cartón dúplex de 100 unidades cada una.

Embalaje 1.1B:	Material de caja	Capacidad de caja	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
Fulminante común N° 6	Cartón	100 cajas x 100 unid	13,5	16,3	34,3 x 32,0 x 26,9
Fulminante común N° 8	Cartón	100 cajas x 100 unid	14,4	17,3	34,3 x 32,0 x 26,9

Embalaje 1.4S:	Material de caja	Capacidad de caja	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
Fulminante común N° 8	Cartón	90 unid.	0,13	2,36	36,0 x 36,0 x 19,5

Transporte

Clase: 1
División: 1.1 B
N° ONU: 0029



Clase: 1
División: 1.4 S
N° ONU: 0455



MANIPULEO Y ALMACENAMIENTO

Los explosivos y accesorios de voladura de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. son productos seguros, pero en ciertos aspectos se constituyen en elementos peligrosos. El transporte o uso debe cumplir con lo establecido por las normas correspondientes, al momento de su transporte, almacenaje y uso, así como entrenar debidamente a todo el personal encargado de su manipuleo.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., no asume responsabilidad alguna por el transporte, almacenaje, manipuleo y uso de los productos que pudieran darse a sus productos. El transporte, almacenaje, manipuleo y uso debe hacerse en concordancia con las regulaciones y especificaciones por la autoridad competente. Debe ser almacenado en depósitos ubicados en zonas seguras, protegidos de la lluvia y el calor, y en concordancia con la tabla de compatibilidad vigente de la autoridad competente.

ATENCIÓN

La información y recomendación aquí descrita no cubren necesariamente todas las aplicaciones del producto ni las distintas condiciones bajo las cuales debe ser utilizado. Estas se basan en la experiencia, investigación y pruebas realizadas por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C., pero no garantiza resultados similares ni asume responsabilidad alguna, expresa o implícita en conexión con el uso de estas sugerencias. Este producto puede ser modificado sin previo aviso.

